

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет прикладної математики
Кафедра системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем**

«На правах рукопису»

УДК 681.586

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Віталій РОМАНКЕВИЧ

«__» _____ 2024 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
за освітньо-професійною програмою «Системне програмування та
спеціалізовані комп'ютерні системи»
зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»
на тему: «Засоби підвищення ефективності системи управління дронами в
сільському господарстві»**

Виконав:

студент II курсу, групи КВ-22мп

Ткачук Тарас Миколайович _____

Науковий керівник:

асистент кафедри СПіСКС, канд. техн. наук

Морозов Костянтин В'ячеславович _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____

Київ 2024

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**

Факультет прикладної математики

Кафедра системного програмування і спеціалізованих комп'ютерних систем

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 123 «Комп'ютерна інженерія»»

Освітньо-професійна програма «Системне програмування та спеціалізовані комп'ютерні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Віталій РОМАНКЕВИЧ

«___» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Ткачука Тараса Миколайовича

1. Тема дисертації «Засоби підвищення ефективності системи управління дронами в сільському господарстві», науковий керівник дисертації Морозов Костянтин В'ячеславович, асистент кафедри СПіСКС, канд. техн. наук, затверджені наказом по університету від «9» листопада 2023 р. №5217-с

2. Термін подання студентом дисертації 10 січня 2024

3. Об'єкт дослідження: алгоритми та методи для пошуку найкращого маршруту для дронів у сільському господарстві.

4. Вихідні дані: дослідження різних алгоритмів планування маршрутів для дронів, їхні переваги та недоліки в контексті сільського господарства.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: дослідження та аналіз теперішніх підходів до управління маршрутами БПЛА, ретельний аналіз різних методів пошуку найкращого шляху, враховуючи їхні переваги та обмеження,

розробка та імплементація методу пошуку найкращого шляху для забезпечення оптимального планування маршрутів польоту.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу - презентація

7. Орієнтовний перелік публікацій:

- 1) «Автономна система маршрутизації з використанням методів машинного навчання для аналізу зображень дрону», V Міжнародна студентська наукова конференція «Наука сьогодення: від досліджень до стратегічних рішень»
- 2) «Тестовий експеримент з визначення ефективності засобів підвищення ефективності системи управління дронами в сільському господарстві», IV Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні аспекти сучасних наукових досліджень»
- 3) «Автономне планування траєкторії для скоординованих груп безпілотників», XVI науково-практична конференція магістрантів та аспірантів ПМК-2023

8. Дата видачі завдання 1 листопада 2022р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Вивчення літератури за тематикою МД	05.02.2023	
2.	Розроблення та узгодження технічного завдання	13.05.2023	
3.	Аналіз існуючих рішень	09.07.2023	
4.	Підготовка матеріалів розділів МД	20.08.2023	
5.	Розроблення програмного забезпечення	07.10.2023	
6.	Тестування розробленого програмного забезпечення	28.11.2023	
7.	Оформлення документації дипломного МД	20.12.2023	

Студент _____

Тарас ТКАЧУК

Науковий керівник _____

Костянтин МОРОЗОВ

РЕФЕРАТ

Актуальність теми. Використання дронів у сільському господарстві представляє собою технологічний прорив, що дозволяє збирати дані та моніторити стан полів швидше, ефективніше та з більшою точністю порівняно з традиційними методами. Ефективне управління дронами може підвищити продуктивність у сільському господарстві шляхом точного моніторингу посівів, вчасного виявлення хвороб та стресу рослин, оптимального застосування ресурсів тощо. Впровадження систем управління дронами може допомогти зменшити витрати на працю, паливо та ресурси, забезпечуючи точне та спрямоване використання ресурсів. Спостереження за постійним розвитком технологій у сфері дронів та штучного інтелекту відкриває нові можливості для покращення систем управління дронами в аграрному секторі.

Об'єктом дослідження є алгоритми та методи для пошуку найкращого маршруту для дронів у сільському господарстві.

Предметом дослідження є вивчення методів оптимального планування маршрутів для дронів у контексті сільського господарства, включаючи аналіз різних алгоритмів та їхню ефективність.

Метою роботи є детальний аналіз та розробка методу пошуку найкращого шляху для планування маршрутів польоту БПЛА.

Наукова новизна полягає в наступному:

1. Розробка нового методу планування маршрутів
2. Інтеграція різних технологій, таких як, штучний інтелект та машинне навчання

Практична цінність: точність та швидкість при плануванні маршрутів, нейронна мережа може працювати швидше та більш точно у визначенні оптимального маршруту для дрона, що дозволить економити час та забезпечувати більш ефективне використання апарату; швидке та точне планування маршрутів дронів дозволить максимізувати покриття

поля або об'єкту моніторингу, що підвищить продуктивність у виявленні проблем та контролі рослин.

Апробація роботи. Основні положення і результати роботи були представлені та обговорювались на V Міжнародній студентській науковій конференції «Наука сьогодення: від досліджень до стратегічних рішень» та IV Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні аспекти сучасних наукових досліджень»

Структура та обсяг роботи. Магістерська дисертація складається з вступу, чотирьох розділів та висновків.

У вступі подано загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність напрямку досліджень, практичну цінність роботи.

У першому розділі проводиться огляд сучасних методів та технологій використання БПЛА.

Другий розділ присвячено детальному аналізу методів пошуку найкращого шляху.

Третій розділ включатиме розробку та опис використання розробленого методу для планування маршрутів БПЛА.

Четвертий розділ буде присвячений аналізу отриманих результатів та висновкам, які впливають із дослідження.

У висновках представлені результати проведеної роботи.

Робота представлена на 96 аркушах, містить посилання на список використаних літературних джерел.

Ключові слова: нейронна мережа, маршрутизація, автоматизовані процеси

ABSTRACT

Actuality of theme. The use of drones in agriculture represents a technological breakthrough that allows collecting data and monitoring the condition of fields faster, more efficiently and with greater accuracy compared to traditional methods. Effective management of drones can increase productivity in agriculture through accurate monitoring of crops, early detection of plant diseases and stress, optimal use of resources, and more. Implementing drone management systems can help reduce labor, fuel and resource costs by ensuring accurate and targeted resource use. Observing the continuous development of technologies in the field of drones and artificial intelligence opens up new opportunities for improving drone control systems in the agricultural sector.

The object of research is algorithms and methods for finding the best route for drones in agriculture.

The subject of the study is the study of optimal route planning methods for drones in the context of agriculture, including the analysis of various algorithms and their effectiveness.

The purpose of the work is a detailed analysis and development of a method for finding the best path for planning UAV flight routes.

The scientific novelty consists in the following:

1. Development of a new route planning method
2. Integration of various technologies, such as artificial intelligence and machine learning

Practical value: accuracy and speed when planning routes, the neural network can work faster and more accurately in determining the optimal route for the drone, which will save time and ensure more efficient use of the device; fast and accurate planning of drone routes will maximize the coverage of the field or monitoring object, which will increase productivity in problem detection and plant control.

Approbation of work. The main provisions and results of the work were presented and discussed at the 5th International Student Scientific Conference "Today's Science: From Research to Strategic Decisions" and the IV International Scientific and Practical Conference "Topical Aspects of Modern Scientific Research"

Structure and scope of work. The master's thesis consists of an introduction, four chapters and conclusions.

The *introduction* provides a general description of the work, substantiates the relevance of the research direction, and the practical value of the work.

In the first chapter, an overview of modern methods and technologies of using UAVs is provided.

The second chapter is devoted to a detailed analysis of methods for finding the best path.

The third section will include the development and description of the use of the developed method for UAV route planning.

The fourth chapter will be devoted to the analysis of the obtained results and the conclusions drawn from the study.

The results of the work are presented in the conclusions.

The work is presented on 96 sheets, contains links to the list of used literary sources.

Keywords: neural network, routing, automated processes

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ОДИНИЦЬ	2
ВСТУП	3
1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ	4
1.1. Сучасні методи та технології використання БПЛА в сільському господарстві	4
1.2. Технічні характеристики і можливості існуючих БПЛА	10
1.3. Проблеми та обмеження використання БПЛА в аграрному секторі.....	18
2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	24
2.1. Аналіз наявних стратегій та засобів управління БПЛА в сільському господарстві.....	24
2.2. Огляд методів для вдосконалення управління БПЛА	30
2.3. Огляд аналогічних програмних рішень	31
2.4. Аналітичний огляд існуючих методів та підходів до планування групових дій	33
3. РОЗРОБКА СТРАТЕГІЙ ТА ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БПЛА У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ	57
3.1. Розробка нейронної мережі – аналога модуля «Пошук оптимального маршруту для одного БПЛА»	58
3.2. Розробка моделі групових дій БПЛА.....	61
3.3 Використання IDE для моделювання управління БПЛА	65
3.4 Розробка прикладного програмного забезпечення	72
3.5. Файлова система розробленого програмного забезпечення	78
4. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ	84
4.1. Проведення практичних експериментів для перевірки ефективності розроблених стратегій та засобів	84
4.2. Порівняльний аналіз покращених стратегій та засобів з існуючими рішеннями	86
4.3. Проблематика при тестуванні програмного продукту	87
ВИСНОВКИ	89
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	92
ДОДАТОК А	98
ДОДАТОК Б.....	106

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ І ОДИНИЦЬ

БПЛА - безпілотний літальний апарат

ЗЗР - засоби захисту рослин

NDVI - нормалізований диференційний вегетаційний індекс

ДР – діючі речовини

RTK - послуга, що дозволяє отримувати поправки до вимірювань та встановлювати місцезнаходження із сантиметровою точністю в режимі реального часу

DCM - двигуни постійного струму

MEMS - мікроелектромеханічні системи

GPS - система глобального позиціонування

IoT - описує мережу фізичних об'єктів - "речей", в які вбудовані датчики, програмне забезпечення та інші технології з метою підключення та обміну даними з іншими пристроями та системами через Інтернет.

ROS - це фреймворк із відкритим вихідним кодом, який допомагає дослідникам і розробникам створювати та повторно використовувати код між додатками робототехніки.

RViz (Robot Visualization) - це інструмент для візуалізації даних в робототехніці.

OBC - об'єкт повітряного спостереження

ВСТУП

Сучасні вимоги до ефективності та точності управління БПЛА визначають необхідність застосування високоточних методів для планування оптимальних маршрутів польоту. З цією метою, в даній роботі розглядається використання методу пошуку найкращого шляху для забезпечення ефективного та точного керування БПЛА.

Зростаюча роль БПЛА в різноманітних сферах, включаючи аграрний сектор, картографію, пошук та рятувальні операції, ставить перед нами завдання оптимізації їхнього руху. Використання методу пошуку найкращого шляху є важливим напрямком досліджень, оскільки цей метод дозволяє знайти оптимальний шлях, враховуючи різноманітні обмеження та вимоги.

1. ОГЛЯД СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ

1.1. Сучасні методи та технології використання БПЛА в сільському господарстві

Сучасні БПЛА оснащені автопілотами та потужними бортовими системами з відповідними інформаційними технологіями. Незважаючи на велику зацікавленість вітчизняних та міжнародних дослідників і науковців у розвитку безпілотної (роботизованої) авіації, розробка методів автоматичного планування маршрутів польотів БПЛА все ще залишається перспективною.

Інформація, необхідна для виявлення БПЛА і подальшої навігації, може бути отримана за допомогою спеціальних засобів, що приймають відбиту і випромінювану енергію у всіх діапазонах спектра електромагнітних і акустичних хвиль. Сьогодні ступінь помітності БПЛА визначається значеннями його сигнатур в радіо-, інфрачервоному (ІЧ) та видимому діапазонах спектра, а також акустичної сигнатури.

Сучасні легкі БПЛА мають менше сигнатур. Вони виготовляються з композитних матеріалів і пластмас зі спеціальним поєднанням кольорів і шарів, а невеликі бензинові або електричні двигуни виробляють дуже мало тепла і працюють майже безшумно. Невеликі бензинові або електричні двигуни виділяють дуже мало тепла і працюють майже безшумно. Широке розмаїття можливих варіантів побудови і застосування розвідувальних літаків у кожному з цих діапазонів ускладнює оцінку їхньої ефективності [1].

Найбільша вразливість БПЛА пов'язана з наявністю в них електромагнітного випромінювання. До засобів електромагнітного демаскування відносяться

- Сигнали від бортового обладнання зв'язку;
- Сигнали радіолокаційних станцій, відбиті від корпусу та агрегатів БПЛА;
- Сигнали від телевізійних ретрансляторів, радіостанцій та базових станцій мобільного зв'язку, відбиті від БПЛА.

- Команди та "звіти" по каналах управління між наземними пунктами управління та БПЛА, а також між БПЛА та супутниками навігаційної системи;

- Сигнали від бортового радара бокового огляду;
- Сигнали від систем автоматичної посадки;
- Канали обміну інформацією. Основними методами виявлення

БПЛА в електромагнітному спектрі є

- Використання камер оптичного діапазону довжин хвиль;
- Використання тепловізорів;
- Радіосупроводження;
- Використання радіолокаційних станцій.

Сучасні легкі безпілотні літальні апарати мають невеликі розміри: БПЛА виготовляються з композитних матеріалів або пластику зі спеціальним поєднанням кольорів і шарів, а невеликі бензинові або електричні двигуни виділяють дуже мало тепла і працюють майже безшумно.¹ Тому для ефективного виконання місії використовується кілька методів виявлення одночасно.

Найбільша вразливість БПЛА пов'язана з наявністю електромагнітного випромінювання. Заходи проти електромагнітного випромінювання включають наступне:

- сигнали від бортового обладнання зв'язку;
- сигнали радіолокаційних станцій, відбиті від корпусу або агрегатів БПЛА;
- сигнали телевізійних ретрансляторів, радіомовних станцій та базових станцій мобільного зв'язку, відбиті від БПЛА;
- команди та "звіти" каналів управління між наземними станціями управління та БПЛА, а також між БПЛА та ретрансляторами навігаційних систем;
- сигнали від бортових радарів бокового огляду;
- канали обміну інформацією.
- сигнали від систем автоматичної посадки.

Основними методами виявлення БПЛА в електромагнітному спектрі є:

- Використання електромагнітної інфрачервоної термографії;
- Використання камер в оптичному діапазоні електромагнітних хвиль;
- Використання радіолокаційних станцій;
- Радіоконтроль.

Радіомоніторинг - це використання технічних засобів для отримання інформації в районах, де проходять лінії радіозв'язку. Передусім це діяльність з дослідження радіообстановки, пошуку, виявлення та контролю різних каналів зв'язку та інших джерел радіовипромінювання.

Завдання радіомоніторингу включають:

- панорамний аналіз спектру в реальному часі;
- пошук радіосигналів від БПЛА, вимірювання їх параметрів та порівняння з базою даних для визначення їх зв'язку;
- запис і подальше відтворення радіосигналів за службовими параметрами (частота, час, рівень сигналу, спектрограма тощо);
- Технічний аналіз радіосигналів з обробкою в реальному часі та з відкладеною обробкою; - Пеленгування БПЛА.

Послуги та використання дронів для сільського господарства

За допомогою безпілотних літальних апаратів це легко зробити. Сьогодні дрони не лише збирають просторові дані, а й є інструментом для проведення заходів із захисту рослин різними пестицидами, точного картографування регіонів та визначення рівня забруднення повітря [2].

Переваги використання дронів

- Швидкість Обстеження поля пішки або вимірювання площі рулеткою - складне і трудомістке завдання, яке не завжди дає точні результати. Однак БПЛА мають широкий діапазон швидкостей, точну географічну прив'язку та високоякісні камери.

- Економія коштів; використання БПЛА мінімізує кількість засобів захисту рослин (ЗЗР) та водних ресурсів, оскільки вони спрямовуються лише на ті ділянки, де вони необхідні. Регулярний моніторинг також знижує ризик крадіжки врожаю.

- Ефективність. Інспекції за допомогою дронів можна проводити в будь-який час доби, незалежно від погодних умов. Це забезпечує безперебійну роботу підприємства, постійний контроль території, своєчасне усунення аварійних ситуацій та збільшення продажів продукції.

На якому етапі сільськогосподарського сезону слід застосовувати БПЛА?

Відповідь проста: використання дронів може бути корисним на кожному етапі вегетації.

- Перед посівом вони можуть бути використані для створення актуальних топографічних, рельєфних та ортофотопланів.

- У середині сезону аерофотозйомка може виявити проблемні ділянки, такі як низька рослинність, високі бур'яни або зараженість комахами. Їх використання може допомогти з розподілом поживних речовин і прогнозуванням врожайності.

- На завершальному етапі дрони можуть допомогти визначити найкращі ділянки для початку збору врожаю та оптимізувати роботу фермерів.

Комплекс послуг для сільського господарства компанії DEF-C

Впровадження безпілотних систем є ефективним вирішенням низки проблем. Так, інтеграція БПЛА в агросектор дозволить аграріям швидко та ефективно вирішувати багато завдань, які потребують багато часу та зусиль [3].

Впровадження безпілотних систем є ефективним вирішенням низки проблем:

- Моніторинг для оцінки стану ґрунту, схожості культур і площі ураження (шкідники, бур'яни, хвороби).

- Інвентаризація та захист посівів. Регулярний огляд ділянок для розрахунку очікуваної врожайності та виявлення незаконного збору врожаю.

- Картографування ділянок. Нові електронні карти з точними межами полів можуть бути легко створені на основі даних аерофотозйомки з дронів.

- Вимірювання NDVI за допомогою мультиспектральних камер. Знаючи нормалізований індекс рослинності, можна контролювати процес росту рослин, виявляти ділянки з низьким рівнем рослинності та визначати оптимальну кількість добрив.

- Польові роботи з дронів: внесення засобів захисту рослин і трихограм. Внесення засобів захисту рослин і трихограм.

- Аналіз умов навколишнього середовища: забруднення повітря, хімічний склад ґрунту, топографічні дефекти.

DEF-C має власний парк безпілотних літальних апаратів (літаків і вертольотів) з різними варіантами оснащення. Це дозволяє вирішувати всі завдання в аграрному секторі максимально ефективно та швидко.

Дрони роблять аерофотозйомку, моніторять поля, створюють 3D-карти, висаджують насіння, вносять добрива та хімікати, керують посівами, допомагають зі зрошенням та контролюють тварин у сільському господарстві.

Дрони в сільському господарстві можуть виконувати широкий спектр завдань:

- Аерофотозйомка використовується для виявлення прогалів, пошкоджень посівів, спричинених природними факторами, та інших дефектів, що потребують своєчасного усунення. Аерофотозйомка з дронів значно перевершує супутникову за рівнем деталізації завдяки меншій висоті польоту.
- Відеозйомка - продуктивність літального апарату під час відеозйомки може досягати 30 км на годину, що значно економить час і економічні витрати в порівнянні з використанням наземного обладнання.
- 3D-моделювання - виявлення перезволожених або сухих ділянок, забезпечення точного планування і складання карт для проведення

земляних робіт, визначення вологості ґрунту і дренажу, рекультивації ділянок і розчищення території.

- Інфрачервона термографія проводиться з використанням повного спектру ближнього, середнього та дальнього інфрачервоного випромінювання. Це дослідження дозволяє визначити терміни диференціації точок росту, що має прямий вплив на підтримання врожайності та продуктивності рослин при збереженні генетичного потенціалу сорту.

- Лазерне сканування - використовується для аналізу топографії важкодоступних або недоступних ділянок. Цей метод забезпечує точні моделі високої щільності та деталізацію рельєфу навіть при роботі в умовах високої густоти насаджень.

- Обприскування - завдяки можливості модернізації дрони використовуються для точкового обприскування посівів і фруктових дерев. Такий підхід дозволяє фермерам обробляти тільки хворі рослини, уникаючи застосування хімікатів до решти врожаю.

- Обприскування насіння є відносно новою розробкою і ще не набуло широкого розповсюдження, але деякі компанії випробовують обприскування насіння за допомогою дронів. По суті, виробники випробовують спеціалізовані системи, запрограмовані на розкидання насіння на підготовлений ґрунт.

- Ця технологія допомагає звести до мінімуму потребу в особистій праці для засіву вибраних ділянок, що є дорогим і енергоємним завданням. Одну й ту саму технологію дронів можна застосовувати на різних типах господарств, щоб скоротити час посіву та витрати на робочу силу.

Внесення речовин дроном. Рідини, гранули, трихограмма, фумігація

Для високорослих культур, таких як соняшник або кукурудза, може виявитися неможливим встановити обприскувач у полі. На відміну від колісних обприскувачів, обприскувачі, встановлені на сільськогосподарських дронах, можуть обприскувати листя з ювелірною точністю і витратити лише кілька літрів на гектар. Враховуючи, що дрони буквально використовують пропелери для розпилення пестицидів на землі, обприскування рідинами за допомогою дронів є чи не найефективнішим методом, доступним на сьогодні. Окрім рідин, дрони також можуть розпилювати на полях гранульовані препарати. Звичайно, трихограму також можна розпилювати як безпечний біологічний засіб захисту рослин [4].

Фумігація - ще один незвичний вид застосування діючих речовин. Під час фумігації спеціальне безпілотне обладнання створює сильний потік гарячого повітря. Це гаряче повітря подається з сумішшю рідких, біологічно нейтральних парогенераторів та діючих речовин. Мікрокраплі діючої речовини (ДР) прилипають до частинок пари, виводячи біологічно активну пару через фумігаційні форсунки.

Діюча речовина може бути використана для фумігації садів і виноградників, для ефективного знищення шкідників на відкритих складах, у струмках і лісосмугах, а також для знищення комарів в очеретяних заростях. Цей метод фумігації особливо ефективний у поєднанні з дронами, які доставляють хмари пари в цільові зони, недоступні іншими методами [5].

1.2. Технічні характеристики і можливості існуючих БПЛА

Щоб відповісти на питання про необхідні технічні можливості БПЛА, необхідно оцінити вагу і габарити наявних датчиків бортового інформаційного обладнання, апаратури акустичного зв'язку та параметри енергоспоживання.

Ці досить складні вимоги можуть бути зменшені, якщо найважчий з датчиків, газоаналізатор, буде стаціонарним і доставлятиметься на місце окремим польотом БПЛА.

На відміну від наземних БПЛА, гірничі БПЛА повинні підтримувати швидкість польоту на маршруті, порівнянну зі швидкістю повітря в шахті. Ця швидкість залежить від міркувань безпечного керування БПЛА з урахуванням швидкості, необхідної для отримання знімків навколишнього середовища [6].

Модель корисного навантаження БПЛА повинна враховувати доступну вагу системи управління польотом і приймально-передавальний пристрій для передачі телевізійних зображень.

Оператор повинен проводити огляд на невеликій відстані від об'єкта. Для цього літальний апарат повинен бути стійким і мати хорошу керованість кутового положення.

Для створення системи автоматичного керування адаптивним польотом необхідно розробити математичну модель польоту БПЛА в стиснених умовах тунелю, визначити детерміновані та стохастичні завади у вигляді змішування повітряних потоків (зустрічних, бокових та бічних), синтезувати алгоритми керування та розробити прийнятний тунель з точки зору аварійних характеристик. Необхідно розробити програми руху БПЛА для різних ділянок тунелю. Також необхідно мати можливість змінювати програму руху відповідно до умов на маршруті [7].

Оскільки гірничодобувні БПЛА обмежені як за енергією, так і за вагою, дослідницька задача полягає в тому, щоб вибрати прилади, датчики, відео- та обчислювальні пристрої, які були б достатньо малими і мінімізували споживання енергії.

Сільськогосподарські дрони, які також називають сільськогосподарськими дронами або агроботами, - це безпілотні літальні апарати (БПЛА), призначені для використання в сільському господарстві. Вони оснащені високотехнологічними датчиками та камерами і можуть збирати цінні дані та виконувати різні завдання, такі як картографування посівів, аналіз ґрунту, моніторинг здоров'я рослин та контроль систем зрошення. Ці дрони дозволяють фермерам швидко та ефективно

збирати інформацію про свої поля та отримувати уявлення про свої культури та ґрунти [8].

Огляд сучасних агро-дронів

Одне з найважливіших застосувань сільськогосподарських дронів - картографування або сегментація посівів. Ці дрони можуть літати над полями і робити знімки з високою роздільною здатністю, які можна використовувати для створення детальних карт посівів і ґрунтів. Ця інформація може бути використана для виявлення ділянок поля, що перебувають у стресовому стані, або для створення довгострокових записів про ріст посівів. Вона також може допомогти фермерам планувати більш ефективні системи зрошення, оцінювати врожайність і прогнозувати майбутні врожаї.



Рис. 1.1 Дрон картограф XAG XMission M500 в роботі

Ще одне важливе застосування сільськогосподарських дронів - аналіз ґрунту (рис. 1.2). Ці дрони можуть бути оснащені датчиками, які можуть вимірювати вміст поживних речовин у ґрунті і допомагають визначити, де є дефіцит важливих мінералів. Ця інформація може бути використана для підвищення родючості ґрунту і сприяння здоровому росту рослин.

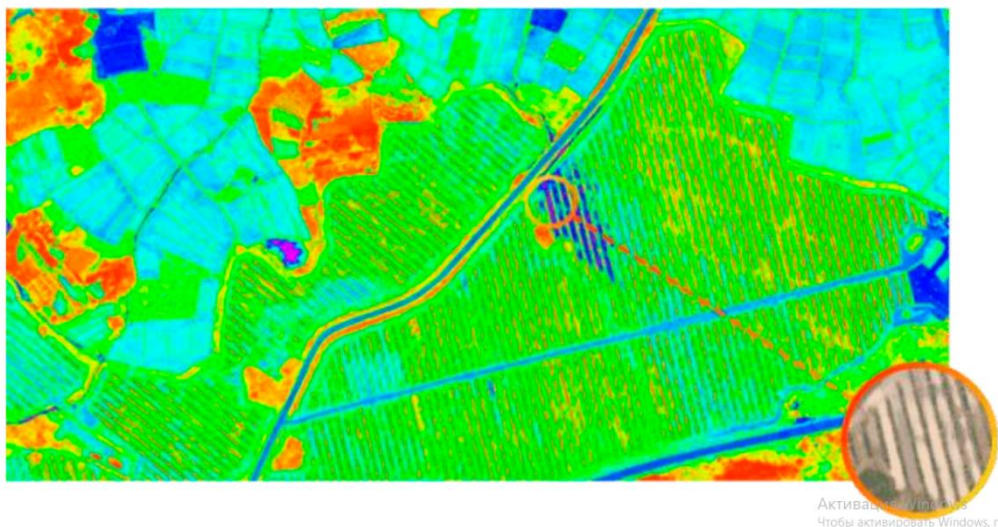


Рис. 1.2 Фото з дрона картографа XAG XMission M500 (зелений – нормальний ґрунт, синій – аномальний ґрунт)

Окрім збору та аналізу даних, сільськогосподарські дрони можуть також використовуватися для управління іригаційними системами. Використовуючи датчики для вимірювання рівня вологості ґрунту, дрони можуть допомогти фермерам визначити, коли зрошувати культури і скільки води потрібно використовувати. Це допомагає заощаджувати воду і підвищувати врожайність, що особливо корисно в районах з дефіцитом води.

Найпоширенішими моделями є квадрокоптер Mavic Air (рис. 1.3), дрон TILL Ranger і квадрокоптер Elios.

Квадрокоптер Mavic Air призначений для досліджень у приміщеннях і зйомки небезпечних зон; він оснащений відеокамерою з трьохосьовим стабілізатором і демпфером підвіски для зменшення вібрацій. Квадрокоптер має передній, нижній і задній датчики виявлення перешкод, швидкість виявлення перешкод не перевищує 8 м/с, а дальність виявлення перешкод становить 0,5-12 м.



Рис. 1.3 Квадрокоптер Mavic Air

Кут огляду 50° по горизонталі, $\pm 19^\circ$ по вертикалі. 32 режими відеозапису у форматі 4K з частотою 30 кадрів на секунду та швидкістю 100 Мбіт/с. Дальність передачі сигналу на відкритому просторі - до 4000 м.

Дрон TILL Ranger (рис. 1.4) призначений для 3D-сканування замкнених просторів і може зависати в просторі, а також літати і пересуватися під землею за допомогою лазерної скануючої системи.

Квадрокоптер Elios, як і квадрокоптер Mavic Air, призначений для традиційних промислових інспекцій, обмежених просторів і небезпечних зон. Його технічні характеристики (максимальна швидкість, дальність передачі сигналу оператору) дещо нижчі, ніж у квадрокоптера Mavic Air. Невеликі габарити (168 x 184 x 64 мм у першого і 400 x 400 мм у другого (по захисній сітці)) дозволяють використовувати їх для відеофіксації аварійних об'єктів у важкодоступних місцях, а отриману інформацію зберігати. Однак вони не підходять для перенесення важкого обладнання [9].



Рис. 1.4 Дрон TILL Ranger

Дрон TILL Ranger можна використовувати для ширшого спектру завдань. Його вантажопідйомність (до 1,5 кг) дозволяє оснащувати його додатковими пристроями, але більші габарити обмежують його використання для аналізу завалів у шахтах та обстеження ділянок обмеженого об'єму.

Подібні апарати розроблялися і в Україні, але їх потенціал для використання в надзвичайних підземних ситуаціях не досліджувався. Однак, виходячи з досвіду використання зарубіжних БПЛА, можна зробити висновок, що запропонований підхід є перспективним. Вирішення таких завдань можливе після розвитку існуючого обладнання, сенсорних вимірювань, засобів зв'язку, передачі даних та бортової обчислювальної техніки, а також більш глибокого аналізу світового ринку та проведення масштабних науково-технічних досліджень [10].

Дрон-обприскувач (безпілотний літальний апарат) XAG V40.

Інноваційна двороторна конструкція; точний сільськогосподарський БПЛА з RTK; повністю автономний політ, всенаправлений радар, уникнення перешкод з повною обізнаністю про напрямок польоту; кілька застосувань в одному апараті Розкидання/обприскування/картування. Створено на основі глибоких знань у галузі сільськогосподарських дронів.



Рис. 1.5 Дрон-обприскувач XAG V40

БПЛА незамінні:

- там, де сільськогосподарські землі розкидані
- у водонасичених ґрунтах
- при вирощуванні високорослих культур
- у складному рельєфі місцевості
- у важкодоступних районах
- при вирішенні локальних проблемних питань
- при обробці садів і фруктових плантацій
- ліси та дачні селища

Переваги використання:**ЕКОНОМІЯ ВОДИ ТА ЗЗР**

Скоротить споживання води на 90%, а засобів захисту рослин - на 30%.

Наднизькі об'єми внесення засобів захисту рослин заощаджують транспортні витрати та споживання води.

Це мінімізує споживання води під час внесення та захищає ґрунт і ґрунтові води, оскільки пестициди не проникають у ґрунт.

ТОЧНЕ ВНЕСЕННЯ РОЗЧИНУ

На відміну від авіації, дрони використовують РТК та оптичні системи для точного позиціонування в просторі, що дозволяє їм вносити препарати в межах контурів поля з точністю до 2-3 см, без пропусків і перекриттів, забезпечуючи раціональне використання засобів захисту рослин і виключаючи помилки оператора.

ОБРОБКА ВИСОКИХ КУЛЬТУР

Він дозволяє обприскувати високі культури (соняшник, кукурудзу) там, де наземні машини не можуть заїхати на поле. Обприскування садів і виноградників також має значні переваги перед наземними обприскувачами.

ВІДСУТНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ КОЛІЇ

До 10% врожаю зберігається завдяки усуненню витоптування та пошкодження рослин, спричинених дорожніми транспортними засобами.

РЕГУЛЬОВАНИЙ РОЗМІР КРАПЛІ

Інтелектуальна форсунка дрона гарантує однорідність, регулюючи розмір крапель від 85 мікрон до 550 мікрон, щоб розчин наносився на поверхню рослини максимально рівномірно.

Характеристики:

- Швидкість обробки: 18 га/год або до 150 га/10 год
- Ефективність картографування 10-15 га за один політ
- Вантажопідйомність: До 16 літрів або 20 кг
- Тривалість польоту До 12 хвилин
- Час зарядки акумулятора: прибіл. 13 хв.
- Рівень захисту IP67

Використання сільськогосподарських дронів стає все більш поширеним, оскільки все більше фермерів застосовують технології для покращення своєї діяльності. Ці дрони допомагають трансформувати управління сільським господарством, надаючи фермерам цінну інформацію про їхні посіви та ґрунти, допомагаючи їм приймати обґрунтовані рішення, які призводять до оздоровлення посівів, підвищення врожайності та покращення сталого розвитку [11].

Таким чином, сільськогосподарські дрони є потужним інструментом для сучасних фермерів. Надаючи цінні дані та інформацію про посіви та ґрунти, дрони допомагають фермерам приймати обґрунтовані рішення про те, як найкраще доглядати за своєю землею. Постійний розвиток безпілотних технологій означає, що сільськогосподарські дрони будуть відігравати все більш важливу роль у майбутньому [12].

1.3. Проблеми та обмеження використання БПЛА в аграрному секторі

Проблемам використання БПЛА (безпілотних літальних апаратів) в аграрному секторі, їх вирішенню та вибору електрообладнання присвячена велика кількість наукових праць вітчизняних та зарубіжних вчених.

Вчені з усього світу представляють технічні та організаційні рішення для використання БПЛА в сільському господарстві, включаючи спостереження за навколишнім середовищем, моніторинг мікрокліматичних параметрів, оцінку стану посівів та ультраколієне обприскування. Детально описані методи визначення параметрів керування для забезпечення стабільного руху по заданій траєкторії. Інші роботи, здебільшого не включені до списку літератури, представлені з акцентом на вдосконалення алгоритмічного забезпечення, розширення функціональних можливостей та оптимізації промислових застосувань, що працюють в автономному режимі [13].

У сфері добрив та засобів захисту рослин БПЛА використовуються для внесення хімічних та мінеральних добрив під посіви сільськогосподарських культур: БПЛА сканує землю і може вносити оптимальну кількість рідини, враховуючи відстань до землі, культуру і погодні умови. До того ж, обприскування відбувається рівномірно. Такі дрони коштують дорожче, ніж звичайні, але воно того варте. Обприскування відбувається в п'ять разів швидше, ніж традиційними методами, а споживання добрив і мінералів оптимізовано.

Безпілотні авіаційні системи в аграрному секторі За офіційними даними, станом на початок 2018 року найбільшим споживачем БПЛА в Україні є аграрний сектор. Приблизно 25% всіх БПЛА, що експлуатуються в Україні, використовуються в сільському господарстві. Причина такої популярності полягає в різноманітності завдань, які можуть виконувати БПЛА: від збору даних і моніторингу стану сільськогосподарських угідь до доставки мінеральних добрив і води на поля. Безпілотні літальні апарати успішно замінили спеціалізовані пілотовані літаки у виконанні цих завдань.

Наступним кроком у модернізації сільськогосподарської техніки може стати використання груп БПЛА в цій галузі. Переваги груп БПЛА перед одиночними

БПЛА, такі як можливість охоплювати більшу площу і виконувати кілька завдань одночасно, значно збільшать кількість і точність даних, необхідних фермерам, і дозволять їм збирати дані з декількох ділянок одночасно і передавати їх в єдину точку, де збирається вся інформація. Система зможе. Використання груп БПЛА для збору інформації може забезпечити єдине зображення всієї сільськогосподарської території з мінімальними втратами ґрунту, а дані (фото або відео), отримані з БПЛА, можуть бути більш високої якості. якості [14].

Такий комплекс значно спростить створення GPS-карт врожаю та щільності посівів, а також дозволить краще їх оновлювати. Використання роїв БПЛА також дозволить здійснювати моніторинг та запобігати надзвичайним ситуаціям (повені, пожежі, негода), атакам шкідників та вторгненням на землю.

Використання біологічних засобів захисту, таких як трихограма, паразитична комаха, яка живиться яйцями шкідників, є особливо важливим в органічному землеробстві. Трихограма може залишатися на полі до тижня, за цей час вона знищує велику кількість шкідників. Це мінімізує використання пестицидів та економить витрати на добрива.

Якість хімічної обробки безпосередньо залежить від щільності нанесення робочого розчину на оброблювану поверхню. Чим більше крапель досягають і залишаються на поверхні рослини, тим ефективнішою буде хімічна обробка. Проблема збільшення щільності крапель вже давно вирішена простим способом. Додаючи велику кількість води і використовуючи "липкі склади", агрономи змогли досягти якісного, рівномірного покриття. Цей метод не підходить для БПЛА, оскільки призводить до збільшення ваги корисного навантаження і вимагає збільшення потужності силової установки [15].

"А що, якщо замість збільшення об'єму рідини зробити меншими самі краплі?" Цей підхід став ключовим для технології ультрамалооб'ємного обприскування (ULV), яка дозволяє вносити хімічні засоби захисту рослин з мінімальною витратою робочої рідини (0,5-5 літрів на гектар). Краплі мають розмір близько 100 мікрометрів і добре проникають у пори навіть дуже щільних

культур. Використання БПЛА для захисту рослин наразі зростає як за кордоном, так і в Японії. Це відкриває наступні можливості:

- Рідина рівномірно покриває всю оброблювану поверхню;
- Краплі не скочуються завдяки своїй легкій вазі;
- Краплі потрапляють точно в пори листя;

Менша кількість робочої рідини означає меншу потребу у воді, що полегшує використання БПЛА.

Технологія безпілотного внесення хімічних засобів захисту рослин в Україні все ще перебуває в зародковому стані, і немає компаній, які б пропонували таку послугу в промислових масштабах. Азійські рішення дуже дорогі і тому складні для використання українськими фермерами. Дрони Yamaha коштують близько 2,5 млн грн, а Agras - 385 000 грн, але вони мають значно нижчу продуктивність [16].

Тому над розробкою дронів працюють вітчизняні стартапи. У цьому напрямку працює українська компанія Kray Technologies. Фахівці компанії розробляють інноваційні рішення для фермерів - дрони з власним програмним забезпеченням. Ціна одного дрона наразі становить близько 50 000 доларів США. Українські дрони оснащені системою комп'ютерного зору, яка може розпізнавати перешкоди та автоматично їх оминати. Камера може розпізнавати місцевість на відстані 10-70 метрів, а лідар - 5-25 метрів. У майбутньому безпілотник буде оснащений пристроєм комп'ютерного зору, який працюватиме в нічному режимі. Цикл роботи дрона становить 15 хвилин - один політ і одна хвилина обслуговування; за один цикл можна обробити до 14 гектарів. Один комплект акумуляторів може заряджатися до 60 хвилин. Продуктивність складає 27-48 гектарів на годину, або близько 250 гектарів на день. Наразі дрон доступний лише для пілотних проектів [17].

У цій сфері розвиваються стартапи Agro-IT, які оптимізують використання дронів у сільському господарстві. Системи, спеціально розроблені для моніторингу цих процесів, можуть знизити витрати на такі операції до 80

відсотків. Системи моніторингу, які слідують за мобільними агробізнесом, можуть коригувати їхні маршрути та оцінювати якість їхньої роботи. Однак їх використання має певні обмеження, пов'язані з часом польоту, корисним навантаженням, відстанню до джерел енергії, витратами на батареї та загальними капітальними інвестиціями для ефективного впровадження.

Повноцінний БПЛА з достатньою потужністю матиме максимальну вартість, що збільшить його комерційну цінність та експлуатаційні витрати. У попередньому дослідженні автори запропонували перенести батарею і систему управління на зовнішній мобільний блок, тобто на машинно-тракторний агрегат (МТА), що покращило б продуктивність і експлуатаційні характеристики, але зменшило б масштаб місії. При певних підходах це також може бути вигідним для виробництва спеціалізованих БПЛА. Таким чином, обмеження автономності БПЛА шляхом передачі частини їхніх функцій МТА означатиме, що БПЛА складатимуться з наступних основних компонентів:

- Рама (конструкція визначається економічними, технічними та агрономічними показниками);
- Двигун (зазвичай це колекторний або безщітковий двигун постійного струму, вибір якого визначається вагою, механічними характеристиками, кількістю обертів на вольт напруги, габаритами, характером джерела живлення та підшипників);
- Пропелер (крок пропелера і діаметр гвинта);
- Бортовий контролер з обмеженими функціями (система контролю параметрів процесу розкидання, положення і переміщення рухомої рами розкидача).

Найскладнішим завданням при синтезі МТА та обприскувачів на базі БПЛА є обґрунтування вибору двигуна. Більшість двигунів, що використовуються для дронів, - це двигуни постійного струму (DCM), які можна розділити на два типи: колекторні та безщіткові.

Безколекторні двигуни здебільшого використовуються в слабких дронах початкового рівня та стрілецьких квадрокоптерах початкового рівня. Безщіткові двигуни не можуть генерувати енергію на високих швидкостях і тому мають низьку підйомну силу. Ці двигуни більш громіздкі і схильні до виходу з ладу через велику кількість деталей, що труться об них.

Безколекторні двигуни використовуються в гоночних і професійних дронах. Вони характеризуються величезною потужністю, високою швидкістю і тягою. Такі двигуни більш компактні, важать приблизно стільки ж, а також більш довговічні завдяки мінімальній кількості рухомих частин, які мають підшипниковий тип [18].

В результаті збільшується корисне навантаження дрона, подовжується час роботи і підвищується ефективність садівництва та виноградарства. Це стає можливим завдяки збільшенню ширини захвату, швидкості обробки та глибини проникнення робочого розчину в крону дерева або куща. Це зменшує витрати паливно-мастильних матеріалів, підвищує якість і швидкість обробки, а також знижує вимоги до швидкості вітру під час обприскування. Для синтезу таких технічних комплексів необхідно вирішити наступні питання:

- Обґрунтування конструкції та вибір силового обладнання (формалізація рами, гідравлічних з'єднань, двигунів, розподільчих пристроїв, датчиків та систем керування);
- Визначення основних параметрів, що впливають на процес використання робочих розчинів при обробці продукту та вплив факторів зовнішнього середовища;
- Дослідження роботи асинхронних двигунів при тривалій експлуатації від високочастотної електричної мережі;
- Виявлення та кореляція економічних та якісних факторів при практичному застосуванні композиту.

Кінцеві результати можуть бути використані для обприскування садів, виноградників, кукурудзи, соняшнику та інших культур, а також бути основою для інших промислових рішень [19].

2. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

2.1. Аналіз наявних стратегій та засобів управління БПЛА в сільському господарстві

Засоби управління

Окрім відмінностей у матеріалах, структурах, силових установках та аеродинаміці між БПЛА та іншими літальними апаратами, керування є найважливішою особливістю, яка відрізняє їх. Автономні внутрішні машини та віддалений зв'язок з людьми є більш важливими компонентами БПЛА, ніж інші системи. Щоб забезпечити корисність, ефективність і прийнятність БПЛА, необхідно скористатися перевагами цих можливостей і визнати обмеження технологій управління [20].

Термін «контроль» використовується для опису повного спектру автоматизації, від внутрішніх сервоприводів із контуром зворотного зв'язку до динамічних модифікацій у стратегіях місії, які базуються на спостереженнях у реальному часі за наслідками минулих стратегічних дій. Комітет прагне до того, щоб БПЛА функціонували в інтегрованих ситуаціях, таких як кілька транспортних засобів із визначеними завданнями, лінії внутрішнього та внутрішнього зв'язку, точки дистанційного керування (наприклад, на локальному чи глобальному рівні) та системи бортових/зовнішніх датчиків, які дозволяють автономно роботи транспортних засобів. Будь-яке рішення або систему можна розгорнути з Землі за допомогою людських ресурсів.

Ці об'єднані ситуації не майбутнього». Подібні сценарії сьогодні використовують різні програми різної складності. За відсутності надійних наукових знань можуть виникнути проблеми з автоматизацією реальних інженерних систем. Додавання цих знань до наявних знань є необхідним для того, щоб зробити проектування складних автономних систем рутинним, що передбачає проектування інтегрованих систем, які є ефективними, але надійними та доступними. Проблема залишається фундаментальною.

Хоча дослідження та розробки будуть необхідні для всіх елементів, зображених на рисунку 2.1, цей звіт зосереджується на чотирьох сферах, які є найбільш переконливими аргументами для базових досліджень за підтримки USAF:

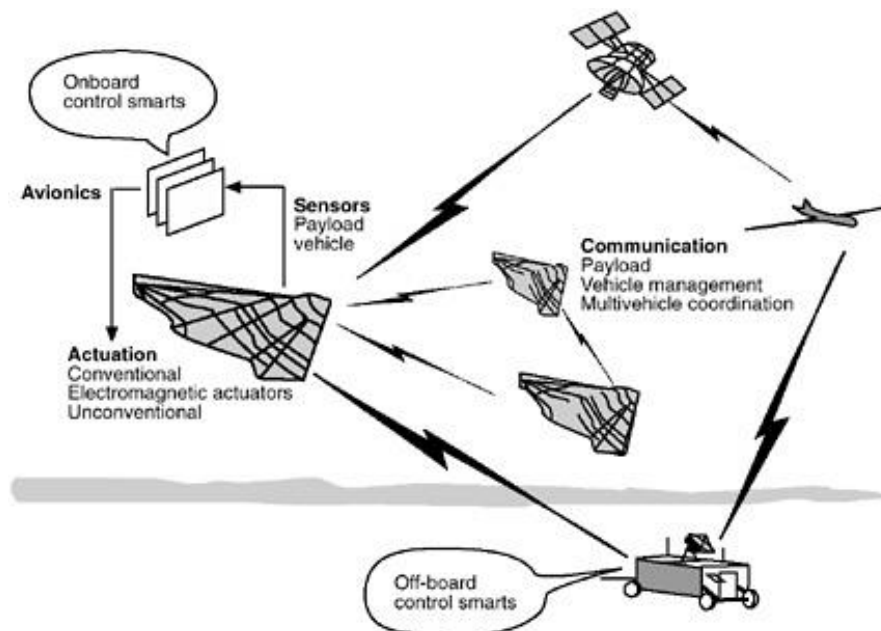


Рис. 2.1 Інтегрований сценарій керування БПЛА

- Інтегрований інтелект або «інтелектуальний контроль» інтегрований в архітектуру системи разом з іншими вбудованими та зовнішніми компонентами обробки.
- Призначення завдань і встановлення зв'язків між людьми та досвідченими машинами».
- Канали зв'язку забезпечені потужністю, безпекою та надійністю.
- Пристрої MEMS використовуються як спеціалізовані датчики та приводи для підтримки унікальних аеродинамічних міркувань.

Коли компанії, що займаються розробкою безпілотників, виходять на сільськогосподарський ринок, дуже важливо вибрати правильний цільовий сегмент. Зазвичай сільськогосподарські дрони використовують у трьох основних напрямках:

- Збір інформації про ферми, поля і культури та створення електронних карт полів на основі цієї інформації;

- Моніторинг стану ферм і полів

- Реалізація рішень - проведення агротехнічних операцій (розпилення засобів захисту рослин, зрошення полів, внесення хімічних добрив, посів насіння).

Як компаніям визначити правильний напрямок своєї роботи? Розглянемо на прикладі української компанії Aerocontec, яка виробляє безпілотники вертолітного типу. Розробляючи свої дрони, компанія в першу чергу подивилася на своїх конкурентів і вирішила увійти в раніше неосвоєну сферу надважких БПЛА, посиляючись на такі ключові характеристики дронів [21].

- Максимальна дальність польоту - 300 км;

- Крейсерська швидкість - 130 км;

- Цільове навантаження - 300 кг;

- Витрата палива - 10 л/год;

- Максимальна тривалість польоту - 3 години.

Таким чином, враховуючи вищезазначені характеристики БПЛА, необхідно знайти цільовий сегмент аграрного ринку, де безпілотні літальні апарати компанії можуть бути найбільш конкурентоспроможними. З цією метою було проведено велике дослідження, що включало аналіз використання дронів AeroConTech для вирішення різних завдань, в порівнянні з основними конкурентами (супутники (Sentinel-2), легкі літаки (Ан-2, Мі-2), наземні методи (портативне діагностичне обладнання, трактори John Deere 4830 і МТЗ-80), невеликі квадрокоптери (AGRAS MG-1, Yamaha R-Max) і дрони AeroConTech).

Перед початком оранки необхідно було виміряти фактичну площу поля (якщо вона не була виміряна раніше), щоб скласти точний план витрат на оранку. В результаті вимірювань створюється електронна карта поля. При створенні такої карти можна переконатися, що засоби захисту рослин і добрива вносяться по-різному на різних ділянках поля, що може призвести до великої економії добрив і засобів захисту рослин і не перенасичує ґрунт. За допомогою карт полів можна

вести паспорт поля і сівозміни, розраховувати необхідну кількість посівного матеріалу, контролювати техніку і визначати час її роботи, а також ефективно використовувати витрати палива. Найефективнішими методами електронного картографування є легкі квадрокоптери та супутники завдяки їхній низькій вартості, високій швидкості та точності інформації [22].

Моніторинг стану посівів є основним джерелом інформації про схожість культур та наявність бур'янів, хвороб та інших проблем на полі (наприклад, втеча худоби, пожежа, зловмисні дії, хвороби тварин). Моніторинг дозволяє своєчасно виявляти відхилення в рості та розвитку рослин, визначати їх причини та швидко приймати управлінські рішення. Для комплексного (багатофункціонального) моніторингу поля найкраще підходять два інструменти: супутники та безпілотні літальні апарати (знову ж таки, легкі безпілотні літальні апарати є найбільш конкурентоспроможними, оскільки вони мають низьку вартість і не потребують великого корисного навантаження) [23].

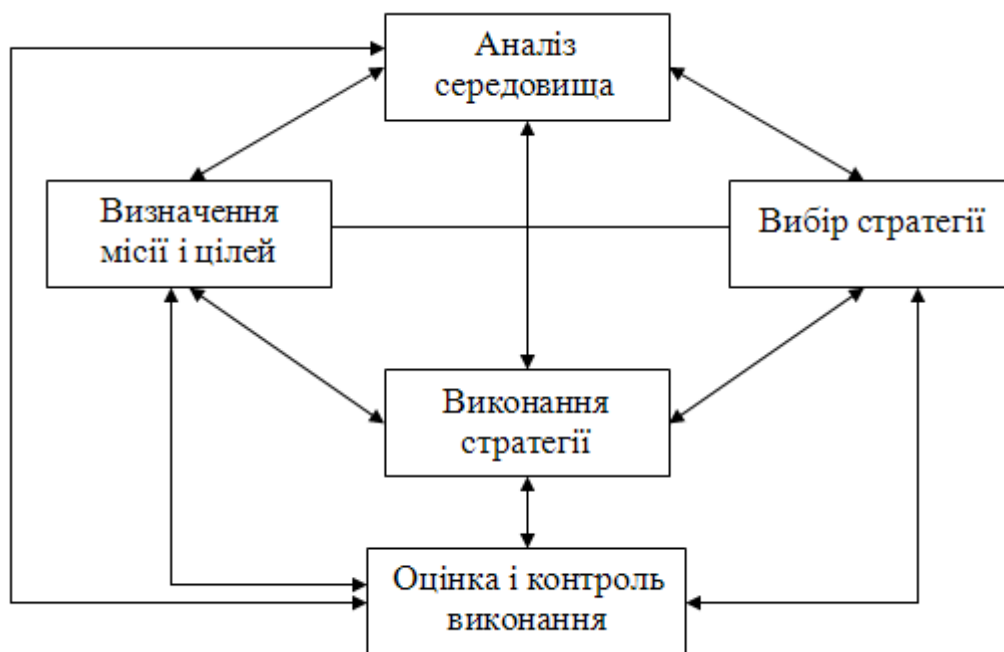


Рис. 2.2 Стратегічне управління БПЛА у сільському середовищі

Дрони також можуть розподіляти насіння та добрива. Ці дві функції сільськогосподарської техніки дуже різні за своєю природою, але схожі з точки зору технології внесення добрив. Хімічні добрива зазвичай вносяться одночасно з висівом насіння. Традиційним методом внесення насіння і хімічних добрив є

наземне внесення за допомогою тракторних сівалок. Насіння та хімічні добрива можна вносити безпосередньо на поверхню ґрунту або на кілька сантиметрів углиб ґрунту. Основним недоліком БПЛА порівняно з традиційними методами внесення насіння та добрив є низька продуктивність розкидання через малий об'єм об'єкта. Крім того, БПЛА можна використовувати лише для внесення насіння на поверхню ґрунту або на невелику глибину, а низька варіабельність добрив і насіння, що вносяться таким методом, робить використання БПЛА непридатним для цих завдань.

Зрошення сільськогосподарських культур може здійснюватися чотирма різними способами: дренажними системами, наземним внесенням за допомогою сільськогосподарської техніки, легкої авіації та БПЛА. Використання БПЛА як засобу вирішення цієї проблеми не є рентабельним через малий обсяг цільового вантажу, навіть якщо бортові датчики БПЛА знайдуть ділянки, які є сухими або потребують обробки інсектицидами при використанні його для зрошення полів (незалежні розрахунки показують, що для вирішення цієї проблеми обсяг цільового вантажу БПЛА повинен становити не менше 2000 літрів) [24].

Обприскування рослин може здійснюватися трьома принципово різними способами тракторне обприскування (буксирувані штангові обприскувачі, навісні штангові обприскувачі та стаціонарні штангові обприскувачі), малі літаки та БПЛА. Основними перевагами обприскування за допомогою БПЛА є відносно низька вартість БПЛА (з урахуванням середніх ринкових показників) менша витрата палива, менша витрата робочої суміші, менші втрати врожаю (при обприскуванні трактором втрачається 5-7% врожаю) та стійкість до погодних умов (трактори не можуть працювати в полі після дощу, а легкі літаки не можуть злетіти після дощу на ґрунтові злітно-посадочні смуги).

Таким чином, аналіз дозволяє зробити висновок, що БПЛА в сільському господарстві можуть бути використані для вирішення трьох основних завдань: електронне картографування, моніторинг полів та обприскування сільськогосподарських культур Ці завдання з метою виявлення найбільш

конкурентних сфер застосування надважких дронів компанії AeroConTech проаналізовано основні характеристики БПЛА для вирішення цих завдань [25].

Основними перевагами досліджуваних БПЛА перед конкурентами є наступні:

- Велике навантаження на ціль;
- Висока швидкість польоту;
- Більша тривалість польоту.

Основні характеристики БПЛА виробництва NC Aerocontec ідеально сумісні з тими, що підходять для вирішення завдань обприскування, що дозволяє стверджувати, що найбільш перспективним сектором для компанії є ринок сільськогосподарського обприскування.

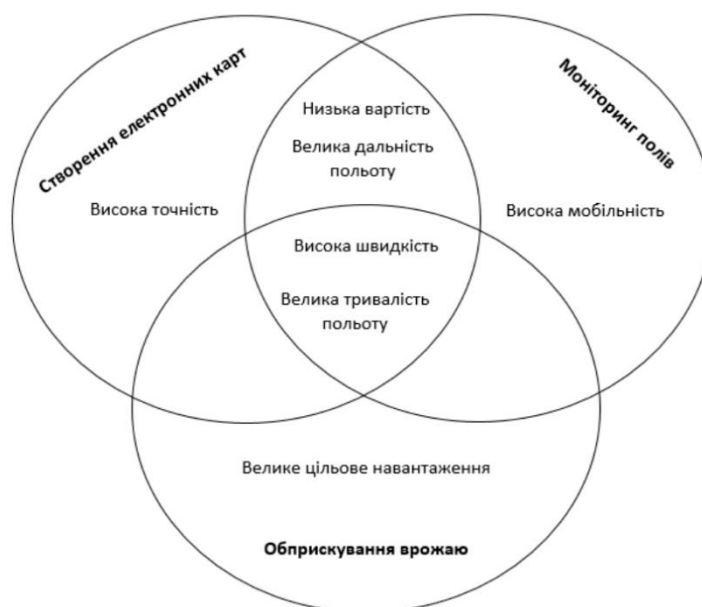


Рис. 2.3 - Ключові характеристики БПЛА для вирішення трьох основних завдань

Ринок засобів захисту рослин є дуже складним з трирівневою комплексною конкуренцією між різними методами обприскування (легка авіація, тракторне обприскування, БПЛА), різними типами дронів (гелікоптери, літаки, планери) та дронами прямого наведення. Для визначення цільових сегментів ринку обприскування можна проаналізувати агробізнес з точки зору форми власності, розміру оброблюваних земель, вирощуваних культур (частота обприскування, характеристики обприскування, можливі типи робочої суміші тощо). Визначивши

кластери агробізнесу, можна оцінити їхню конкурентоспроможність і на основі цих даних вибрати найбільш привабливі сегменти [26].

2.2. Огляд методів для вдосконалення управління БПЛА

Для пошуку оптимального маршруту для БПЛА ви можете скористатися різними методами і технологіями. Ось кілька підходів:

1. Алгоритми маршрутизації:

Використання алгоритмів, таких як алгоритми Дейкстри, алгоритми A* або алгоритми генетичного програмування, може допомогти знайти оптимальний маршрут для БПЛА з урахуванням різних обмежень та умов.

2. Системи GPS та навігації:

БПЛА можуть використовувати системи GPS для визначення свого місцезнаходження та навігації в реальному часі. Користуючись інформацією про трафік, перешкоди та інші умови, БПЛА може коригувати свій маршрут.

3. Штучний інтелект:

Використання алгоритмів машинного навчання та штучного інтелекту може дозволити БПЛА навчатися враховувати різні фактори, такі як погода, трафік, географічні особливості тощо, для вибору оптимального маршруту.

4. Керування роєм БПЛА:

Декілька БПЛА можуть працювати як один рій, спільно координуючи свої дії та маршрути. Це може допомогти уникнути перешкод та оптимізувати шляхи.

5. Інтерактивні системи:

Врахування інтерактивності між БПЛА та віддаленим керуванням може допомогти у реагуванні на змінні обставини та оновлення маршруту в реальному часі.

6. Сенсори та візуальна обробка:

Використання різноманітних сенсорів, таких як камери, лідари, радары, може допомогти БПЛА зібрати інформацію про оточуюче середовище і вибрати оптимальний маршрут.

7. Врахування обмежень та правил:

Забезпечення того, щоб алгоритми маршрутизації дотримувалися обмежень і правил, пов'язаних з безпекою, правилами повітряного руху та іншими нормативами.

Ці підходи можна комбінувати для створення комплексної системи, яка забезпечить ефективне та безпечне переміщення БПЛА.

2.3. Огляд аналогічних програмних рішень

Існують різні програмні застосунки та сервіси, які допомагають в плануванні та управлінні маршрутами для дронів. Наведемо кілька прикладів:

DroneDeploy - це платформа для планування маршрутів, збору даних та обробки для дронів. Вона надає інтерфейс для створення точних маршрутів польоту та автоматизованого збору даних.

Pix4Dcapture - це безкоштовний додаток для планування маршрутів від Pix4D, який дозволяє ефективно здійснювати зйомку з повітря за допомогою дронів.

DJI GS Pro - це програма від компанії DJI для iPad, яка дозволяє вам планувати та виконувати автоматизовані польоти для дронів DJI.

Mission Planner - це відкрите програмне забезпечення для планування місій для дронів, які використовують платформу ArduPilot.

QGroundControl - це відкрите програмне забезпечення для керування дронами та мультироторними літаками. Воно включає в себе функції для планування маршрутів та виконання місій.

AirMap - це платформа для управління трафіком дронів, яка також може надавати інформацію про дозволи та обмеження для польотів.

senseFly eMotion - це програмне забезпечення для автоматизованого планування маршрутів і управління даними для дронів senseFly.

Переконайтеся, що вибраний вами програмний продукт відповідає вашим потребам, типу дрона та специфікаціям вашого проекту. Багато з цих програм мають безкоштовні версії або пробні періоди, тож ви можете спробувати декілька і визначити, який найбільше підходить вашим вимогам.

При використанні програмних продуктів для планування маршрутів дронів є як позитивні, так і від'ємні аспекти. Враховуючи конкретні потреби та умови вашого проекту, важливо обдумати переваги та недоліки кожного з продуктів. Ось загальні плюси та мінуси:

Плюси:

1. Автоматизація та ефективність: Програмні продукти дозволяють автоматизувати процеси планування маршрутів та збору даних, що робить їх ефективними та швидкими.
2. Графічний інтерфейс: Більшість програм мають інтуїтивний графічний інтерфейс, який полегшує створення та редагування маршрутів.
3. Відстеження та аналіз даних: Деякі програми надають інструменти для відстеження та аналізу даних, зібраних під час польоту.
4. Автоматичне уникнення перешкод: Деякі програми враховують дані про перешкоди та дозволяють дронам автоматично уникати їх.
5. Синхронізація з GPS: Програми можуть ефективно взаємодіяти з системами GPS для точного позначення маршрутів та координат.

Мінуси:

1. Обмежена гнучкість: Деякі програми можуть бути обмежені в можливостях та не дозволяти налаштовувати певні аспекти польоту.
2. Залежність від виробника дрона: Деякі програми можуть бути оптимізовані для роботи тільки з конкретними марками або моделями дронів.
3. Платні опції: Деякі функції або розширені можливості можуть бути доступні лише в платних версіях програм.
4. Вимоги до обладнання: Деякі програми можуть вимагати специфічного обладнання або сумісності, що може підняти вартість проекту.
5. Необхідність оновлень: При змінах у вимогах чи правилах, програми можуть потребувати регулярних оновлень для підтримки актуальності та безпеки.

Перед вибором програмного продукту ретельно оцініть ваші потреби, обставини проекту та функціональні можливості програми. Робіть вибір,

враховуючи як плюси, так і мінуси, для того щоб обрати той продукт, який найкраще відповідає вашим конкретним умовам.

2.4. Аналітичний огляд існуючих методів та підходів до планування групових дій

Огляд існуючих методів пошуку оптимального маршруту за одиночного польоту БПЛА

В даний час існує безліч методів вирішення цього завдання, таких як повний перебір, динамічне програмування, генетичні алгоритми, жадібні алгоритми, метод сходження та багато інших. Розглянемо деякі з них докладніше для того, щоб оцінити, чи підходять вони для вирішення завдання, поставленого у цьому дипломному проекті.

Повний перебір

Повний перебір всіх можливих варіантів є найпростішим розв'язанням задачі. Цей метод вирішує задачу пошуку оптимального маршруту «в лоб». Основою методу повного перебору є складання та розрахунок всіх можливих послідовностей обльоту об'єктів. Даний метод завжди дає оптимальне рішення завдання, проте вимагає виконання великої кількості часу та обчислювальних ресурсів БЦВМ. При цьому зі зростанням числа об'єктів час розв'язання задачі зростає експоненційно, оскільки кількість можливих варіантів дорівнює $n!$, де n – кількість об'єктів (рисуюнок 2.4).

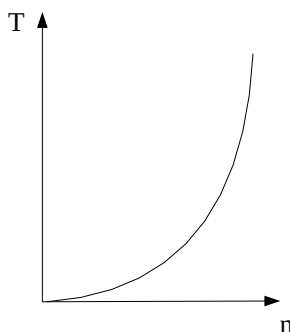


Рисунок 2.1 Залежність часу виконання алгоритму від кількості об'єктів

Сильні сторони:

- простота реалізації;
- Знайдене рішення завжди оптимальне.

Слабкі сторони:

- Колосальний час розв'язання задачі.
- Необхідність використання великих обсягів пам'яті.

Генетичні алгоритми

Генетичні алгоритми – метод оптимізації, який ґрунтується на принципах, що спостерігаються в природі. Вони поєднують такі якості, як висока швидкість роботи, мала ймовірність зупинки в локальних мінімумах простору пошуку. Робота генетичних алгоритмів заснована на принципах природного відбору та використовує безліч понять та визначень, запозичених із генетики. Це такі поняття, як хромосома, ген, пристосованість, мутація, відбір, схрещування та інші.

На початку роботи алгоритму генерується початкова популяція – набір особин, що характеризуються хромосомами. Кожна хромосома є рядком. У цьому рядку закодовано інформацію про маршрут польоту БПЛА. Наприклад, якщо у нас є 4 об'єкти, які необхідно облетіти, ми можемо закодувати хромосому у вигляді двійкового рядка таким чином, що кожен 2 біти будуть номер об'єкта в двійковому коді. Від вибору кодування хромосоми часто залежить ефективність застосування генетичного алгоритму. Наприклад, в нашому випадку, в результаті роботи алгоритму ми будемо отримувати безліч восьмибітних рядків, більшість з яких не годяться для вирішення завдання, оскільки деякі об'єкти будуть враховані кілька разів, а деякі можуть взагалі не враховані. Відповідно такий варіант кодування можна вважати не дуже вдалим.

Після створення початкової популяції (зазвичай вона створюється випадковим чином) слід відібрати кілька особин як батьків майбутніх поколінь. Існує кілька алгоритмів вибору, проте найпопулярнішим є правило рулетки. Розглянемо його дещо докладніше.

Для кожної з особин у існуючій популяції проводиться обчислення функції пристосованості (функція, яка є критерієм оптимальності того чи іншого маршруту). Після цього колесо рулетки поділяється на сектори, кожен з яких

відповідає певній особині, а його розмір пропорційна значенню функції пристосованості цієї особини. Далі, «запускаючи» рулетку необхідну кількість разів, ми відбираємо особини у популяцію батьків (якщо згенероване випадкове число потрапляє у сектор, відповідний певної особини, вона потрапляє у популяцію батьків). При цьому одна й та сама особина може бути обрана в популяцію батьків кілька разів, таким чином, ймовірність найбільш пристосованої особини брати участь в утворенні потомства вища, ніж у менш пристосованого).

Після того, як популяція батьків створена, ми випадково відбираємо двох (або більше, залежно від конкретної реалізації алгоритму) і з деякою ймовірністю виконуємо операцію схрещування. Ця операція полягає в тому, що хромосоми двох батьків поділяються на кілька частин (надалі розглядатимемо випадок, коли хромосома поділяється на дві частини) в точках, званих точками схрещування, і обмінюються цими частинами. Таким чином, ми отримуємо дві особи наступного покоління (рисунок 2.5).

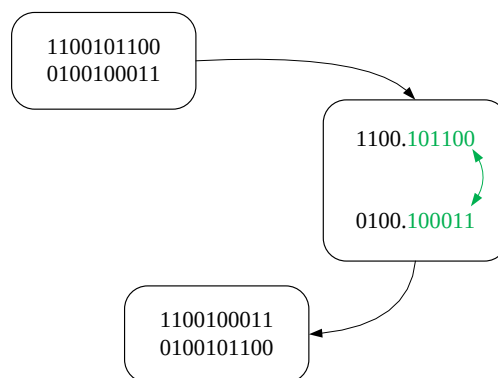


Рисунок 2.2 Операція схрещування

Операція відбору двох батьків та схрещування повторюється доти, доки ми не наберемо потрібну кількість особин для наступного покоління.

Після закінчення операції схрещування з новоствореної та попередньої популяцій відбирається кілька кращих особин таким чином, щоб підсумковий розмір популяції відібраних особин відповідав вихідному розміру.

Потім провадиться операція мутації. Вона полягає в тому, що з дуже малою ймовірністю кожен біт особини може бути змінений на протилежний (рисунок 2.6). Це необхідно для того, щоб виключити такі ситуації, коли, наприклад, у всій популяції перший біт кожної хромосоми дорівнює нулю, і таким чином неможливо отримати в результаті схрещування значення одиниці на його місці.

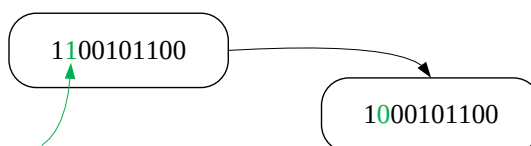


Рисунок 2.6 Мутація

Після всіх цих операцій закінчується одне покоління генетичного алгоритму і проводиться перевірка на умову зупинки. Умовою зупинки може бути, наприклад, кількість виконаних поколінь або дуже мала мінливість найкращого рішення в кількох популяціях. Якщо умова зупинки недотримано, всі операції генетичного алгоритму повторюються наново з поточної населенням. В іншому випадку найкраще рішення з поточної популяції приймається як оптимальний [27]. Схема роботи генетичного алгоритму представлена на рисунку 2.7.

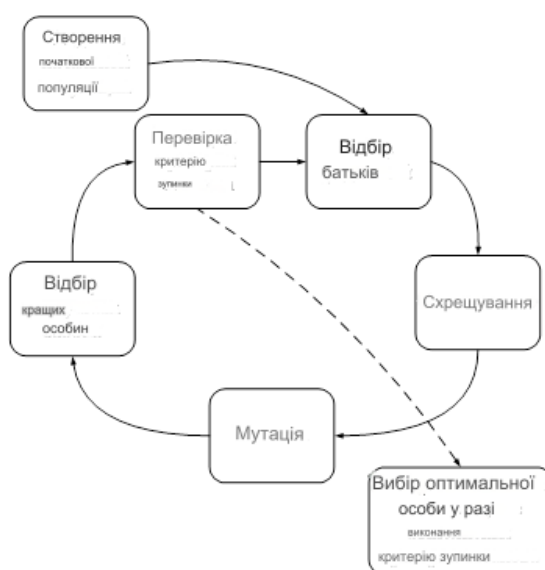


Рисунок 03Схема роботи генетичного алгоритму

Сильні сторони роботи ГА:

- практично повна незалежність від характеристик простору пошуку;
- мінімальна залежність від характеру критерію оптимальності;
- Знайдене рішення практично завжди є оптимальним.

Слабкі сторони:

- складність реалізації;
- велика залежність від вибору варіанта кодування хромосоми.

Метод сходження

Це один із найпростіших методів пошуку оптимального шляху. При розв'язанні задачі за допомогою цього методу спочатку генерується випадкове рішення, потім до нього вноситься деяка зміна (змінюється місцями пара міст), і ці два рішення порівнюються між собою. Якщо новий маршрут коротший, він приймається як вихідний на наступному етапі роботи алгоритму. Якщо ж цей маршрут довший, то як вихідний для наступного кроку приймається старий маршрут. На наступній ітерації процес повторюється. Якщо протягом деякого числа ітерацій змін не відбувається (рішення не покращується), то процес зупиняється і поточне рішення приймається як оптимальне.

Але цей алгоритм має деякі недоліки. В першу чергу, алгоритм ефективний тільки для унімодальних функцій, оскільки при роботі цього алгоритму рішення завжди йде вгору. Таким чином, якщо простір пошуку простий і містить лише один максимум, ми завжди зможемо знайти оптимальне рішення за допомогою даного методу (рис. 2.8). У будь-якому іншому випадку велика ймовірність того, що алгоритм зупиниться в локальному мінімумі, а глобальний максимум не знайдено (рис. 2.9). [28]

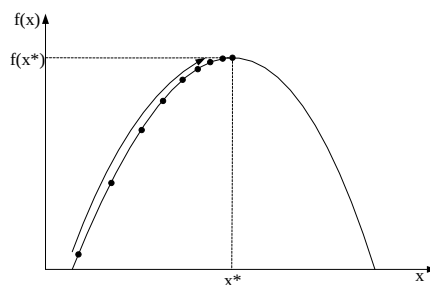


Рисунок 04 Випадок знаходження максимуму для унімодальної функції

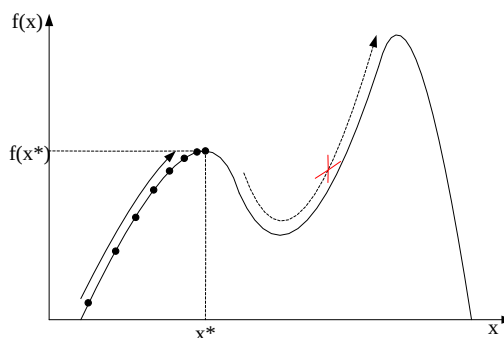


Рисунок 05 Випадок знаходження максимуму для функції з локальними максимумами

Сильні сторони:

- простота реалізації;
- надійність роботи для унімодальних функцій.

Слабкі сторони:

- зупинка у локальних мінімумах, неможливість роботи у разі, якщо простір пошуку має кілька мінімумів;
- невизначений час пошуку.

Динамічне програмування

Під час вирішення завдання пошуку оптимального маршруту дуже часто користуються динамічним програмуванням. Основний його принцип полягає в тому, що велике завдання розбивається на деяку кількість підзавдань, оптимальне вирішення яких, у свою чергу, може бути використане для вирішення глобального завдання.

При вирішенні завдань за допомогою динамічного програмування необхідно виконати три кроки:

- 1) Розбиття завдання на підзавдання меншого розміру.
- 2) Знаходження рішення підзадач рекурсивно, проробляючи той самий алгоритм.
- 3) Використання одержаного рішення підзавдань для конструювання розв'язання глобального завдання.

При цьому кожне підзавдання, на відміну, наприклад, від методу повного перебору, вирішується лише один раз і запам'ятовується у спеціальній таблиці. Значення цієї таблиці надалі використовуються при вирішенні завдань вищого рівня.

При розв'язанні задачі пошуку оптимального маршруту методом динамічного програмування часто використовується алгоритм Дейкстри. Принцип роботи цього алгоритму у тому, кожен пункт маршруту асоціюється з вершиною графа. Кожній вершині цього графа зіставляється мітка, значенням якої є відома мінімальна відстань від початкової вершини до поточної. [29]

Розглянемо виконання алгоритму з прикладу графа, показаного малюнку. Нехай потрібно знайти відстані від 1-ї вершини до решти.

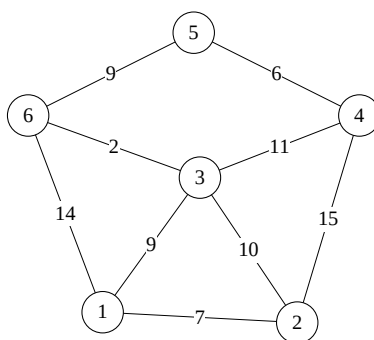


Рисунок 2.6 Подання задачі у вигляді графа

Гуртками позначені вершини, лініями – шляхи між ними (ребра графа). У гуртках позначено номери вершин, над ребрами позначено їхню «ціну» – довжину

шляху. Поруч із кожною вершиною червоним позначено мітку – довжину найкоротшого шляху до цієї вершини з вершини 1.

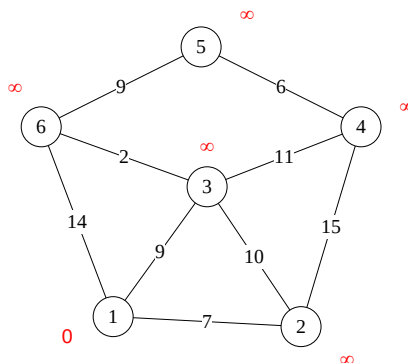


Рисунок 2.11 Введення позначок для кожної вершини

Перший крок . Розглянемо крок алгоритму Дейкстри нашого прикладу. Мінімальну мітку має вершина 1. Її сусідами є вершини 2, 3 та 6. Перший по черзі сусід вершини 1 – вершина 2, тому що довжина шляху до неї мінімальна. Довжина шляху в неї через вершину 1 дорівнює найкоротшій відстані до вершини 1 + довжина ребра, що йде з 1 в 2, тобто $0 + 7 = 7$. Це менше поточної мітки вершини 2 тому нова мітка 2-ї вершини дорівнює 7.

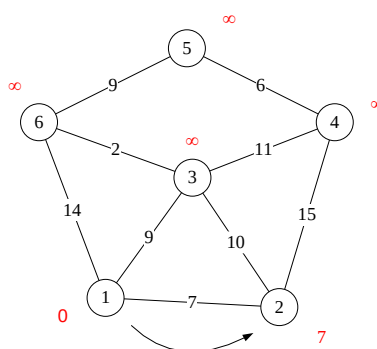


Рисунок 20.12

Аналогічну операцію проробляємо з двома іншими сусідами 1-ї вершини - 3-ї та 6-ї.

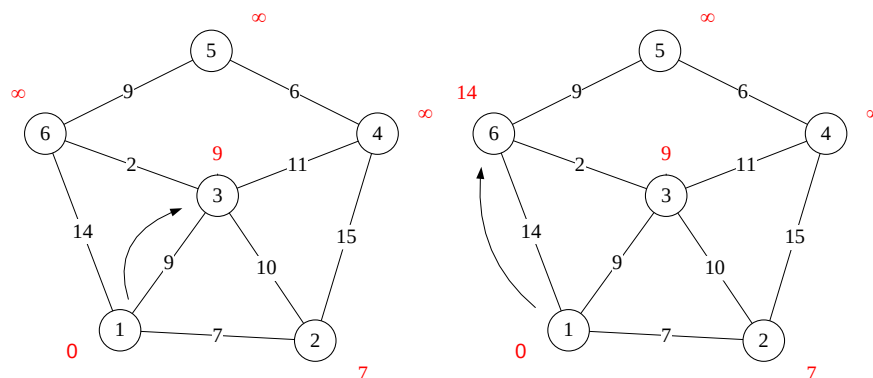


Рисунок 20.13

Усі сусіди вершини 1 перевірені. Поточна мінімальна відстань до вершини 1 вважається остаточною і не підлягає перегляду (те, що це дійсно так, вперше довів Дейкстра). Викреслимо її із графа, щоб відзначити, що ця вершина відвідана.

Другий крок . Крок алгоритму повторюється. Знову знаходимо «найближчу» з невідвіданих вершин. Це вершина 2 з міткою 7.

Знову намагаємося зменшити мітки сусідів обраної вершини, намагаючись пройти в них через 2-у. Сусідами вершини 2 є 1, 3, 4.

Перший (по порядку) сусід вершини 2 - вершина 1. Але вона вже відвідана, тому з 1 вершиною нічого не робимо.

Наступний сусід вершини 2 – вершина 3. Якщо йти до неї через 2, то довжина такого шляху буде $= 7 + 10 = 17$. Але поточна мітка третьої вершини дорівнює $9 < 17$, тому мітка не змінюється.

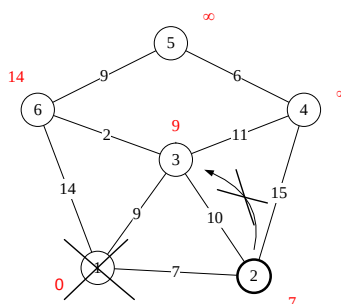


Рисунок 2.14

Ще один сусід вершини 2 – вершина 4. Якщо йти в неї через 2-ю, то довжина такого шляху буде найкоротша відстань до 2 + відстань між вершинами 2 і 4 = 7 + 15 = 22. Оскільки $22 < \infty$, встановлюємо мітку вершини 4 рівною 22.

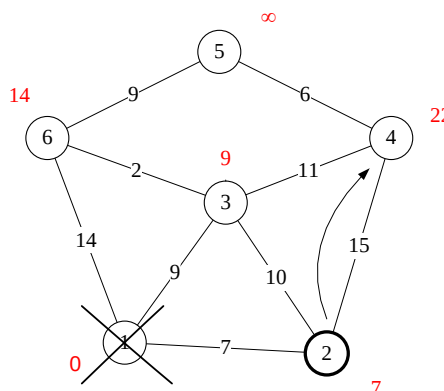


Рисунок 2.15

Всі сусіди вершини 2 переглянуті, заморожуємо відстань до неї та помічаємо її як відвідану.

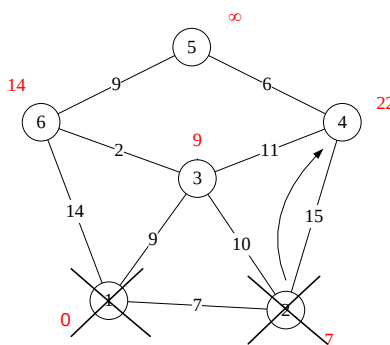


Рисунок 2.16

Третій крок . Повторюємо крок алгоритму, вибравши вершину 3. Після її «обробки» отримаємо такі результати:

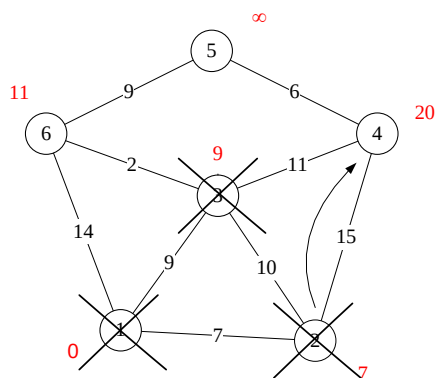


Рисунок 2.7

Подальші кроки . Повторюємо крок алгоритму для вершин, що залишилися (Це будуть по порядку 6, 4 і 5).

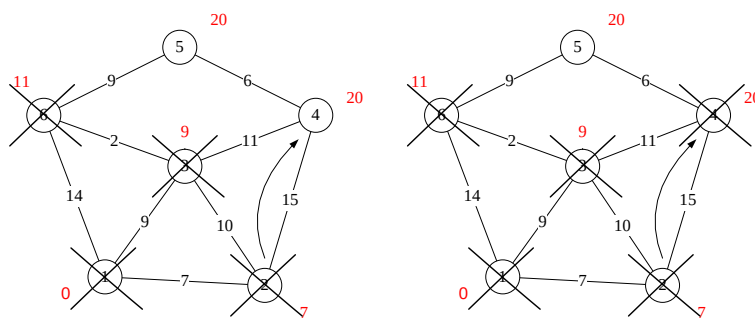


Рисунок 2.18а

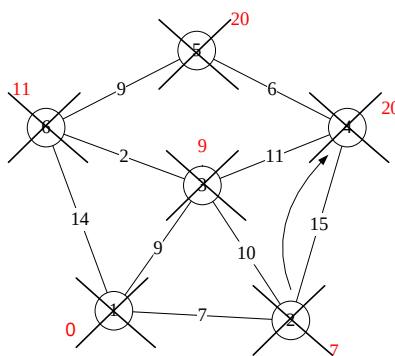


Рисунок 2.8б

Завершення виконання алгоритму . Алгоритм закінчує роботу, коли викреслено всі вершини. Результат його роботи видно на останньому малюнку:

найкоротший шлях від вершини 1 до 2 -ї становить 7, до 3-ї - 9, до 4-ї - 20, до 5-ї - 20, до 6-ї - 11.

Сильні сторони:

- простота реалізації;
- швидкість роботи;
- відомий заздалегідь час пошуку.

Слабкі сторони:

- властивість "відсутності наслідків", тобто неможливість роботи у разі рухливих об'єктів.

Жадібний алгоритм

Існує кілька варіантів роботи жадібного алгоритму, але, загалом, їх принцип зводиться до того що, що є оптимальне рішення кожної локальної завдання, але рішення глобальної завдання може у випадку бути оптимальним. Для пошуку оптимального маршруту це вироджується у тому, що наступним завжди вибирається об'єкт, «найближчий» до поточного положення БПЛА. Але в даному випадку маршрут, який виходить в результаті, не завжди є оптимальним (рис. 2.19). [30]

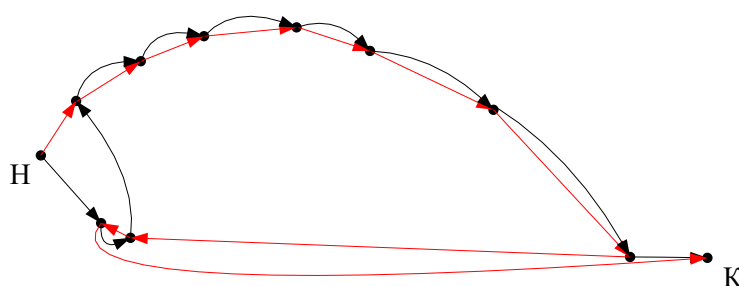


Рисунок 2.19 Порівняння оптимального шляху (чорні стрілки) та шляху, отриманого за допомогою жадібного алгоритму (червоні стрілки)

Як видно з рисунка 2.19, маршрут з початкової точки Н кінцеву точку К, отриманий за допомогою жадібного алгоритму, відрізняється від оптимального.

Сильні сторони:

- простота реалізації;
- швидкість роботи;
- відомий заздалегідь час пошуку.

Слабкі сторони:

- неоптимальне вирішення глобального завдання.

Вибір алгоритму для поставленого завдання

Ми розглянули основні алгоритми пошуку оптимального маршруту. Проведемо аналіз цих методів та визначимо, чи підходять вони для вирішення поставленого завдання.

Жадібний алгоритм не підходить для вирішення через те, що в загальному випадку не дає оптимального результату.

Методи динамічного програмування мають властивість відсутності наслідків, отже, їх не можна застосовувати на вирішення завдання з рухомими об'єктами у класичному виконанні.

Метод сходження чутливий до наявності локальних мінімумів на просторі пошуку, а, отже, його застосування теж не даватиме оптимального результату в більшості випадків.

Генетичні алгоритми та метод повного перебору повністю підходять для вирішення поставленого завдання, але генетичні алгоритми досить складні у виконанні, а через те, що надалі в даному дипломному проекті можуть бути застосовані нейромережеві технології для скорочення часу роботи алгоритмів, скористаємося методом повного перебору.

Огляд існуючих методів оптимізації групових дій

На сьогоднішній день найбільш відомими методами є застосування мультиагентних систем і вирішення задачі багатьох комівояжерів. Розглянемо їх докладніше.

Мультиагентні системи

Дані системи створені на вирішення різних завдань штучного інтелекту, у яких є кілька учасників.

Агент – це щось, здатне сприймати своє оточення через сенсори та змінювати його своїми діями.

Сучасний підхід до штучного інтелекту ґрунтується на понятті раціонального агента, який завжди намагається оптимізувати свої дії. Проте агенти рідко є одиночними системами. Найчастіше вони взаємодіють один з одним, утворюючи систему, яка називається мультиагентною.

Процес прийняття рішення агентом відбувається в такий спосіб. Припустимо, що кожному кроці роботи системи агент може з кінцевого набору можливих дій A вибрати якусь дію a_t . Також для прийняття раціонального рішення агенту необхідно оцінювати минуле та майбутнє. Під минулим мається на увазі те, що агент сприйняв якусь інформацію і вчинив якісь дії до поточного моменту часу, а під майбутнім - що він очікує і що збирається потім робити.

Функція, яка відображає набір пар спостереження – дія до поточного моменту часу в оптимальну дію у поточний момент часу називається стратегією агента

Але перебування такої функції які завжди є вирішуваним завданням, більше, збереження всієї історії дій потребує великих обсягів пам'яті. Тому необхідно використовувати простіші стратегії. Наприклад, можна використовувати лише поточне спостереження для ухвалення рішення. У цьому випадку агент є рефлексивним.

Однак використання такого агента може бути досить ефективним. У багатьох завданнях поточний стан оточення містить у собі всю необхідну інформацію про свою історію. Про таке оточення кажуть, що воно є Марківським, чи несе властивість Маркова.

У разі, якщо агент використовує для ухвалення рішення оцінки майбутнього, необхідно вибудувати прогноз про зміну оточення агента після здійснення ним будь-якої дії. Тут можливі два варіанти:

- у детерміністичному світі модель переходу відображає єдиним чином пару стан-дія в новий стан;
- у стохастичному світі модель переходу відображає пару стан-дія у розподіл ймовірності станів.

Як приклад алгоритму, що використовує мультиагентні системи, розглянемо алгоритм, запропонований у [31]. Даний алгоритм заснований на тому, що всі БПЛА пов'язані в єдину мережу, всередині якої приймаються рішення про розподіл об'єктів спостереження між ними. Як і в багатьох інших подібних алгоритмах, прийняття рішення є колективним і базується на тому, що кожен БПЛА висуває пропозицію про те, до якого об'єкта він вважає за необхідне рухатися. Інші БПЛА у процесі переговорів можуть ухвалити або відкинути це рішення.

Сам процес ухвалення рішення полягає в наступному. Кожен агент протягом одного циклу переговорів здійснює 4 дії:

- відправляє чи отримує пропозицію,
- обмірковує отриману пропозицію,
- надсилає відповідь (згоду або незгоду),
- приймає рішення.

Кожен агент обчислює виграш, отриманий у тому випадку, якщо він піде за нею за такою формулою

$$b_i(T_j) = V_{T_j} w_r - S_t,$$

де $V_{T_j} w_r$ - "ціна" об'єкта,

S_t - Відносний час переслідування об'єкта

Таким чином, для кожної мети БПЛА формує списки виграшів, отриманих від слідування за кожним об'єктом, і розсилає іншим БПЛА номер об'єкта, за який він отримає максимальну вигоду.

На другому та третьому кроках, коли дані від усіх БПЛА зібрані, кожен з них аналізує отриману інформацію та приймає рішення про згоду чи незгоду та цим на підставі наступних правил:

- якщо об'єкт обраний лише одним БПЛА, то ця пропозиція схвалюється;
- якщо об'єкт обраний декількома БПЛА, то згоду надсилається тільки тому БПЛА, для якого максимальний виграш;
- один БПЛА може надіслати лише одну згоду для кожної мети;
- якщо всі сусіди даного БПЛА (тобто ті БПЛА, від яких він знаходиться в безпосередній близькості) згодні з його метою, він отримує право на прийняття рішення про доцільність до його поточної мети;

Четвертий крок полягає в аналізі отриманих відповідей та ухваленні рішення. Якщо БПЛА отримав згоду від усіх сусідів, він виконує заплановану дію. Якщо він отримав відмову хоча б від одного із сусідів, він бере участь у наступному циклі переговорів. Якщо ж БПЛА отримав відмову від своїх сусідів, він виконує завдання пошуку нових об'єктів.

Виділимо сильні та слабкі сторони цього підходу

Сильні сторони:

- постійна взаємодія між агентами;
- колективне ухвалення рішення всіма агентами.

Слабкі сторони:

- у разі необхідності використання великої історії дій зростає ресурсоемність цього підходу;
- агент найчастіше діє за аналогією з жадібним алгоритмом, отже його рішення у випадку не можна вважати оптимальним;

- необхідність використання стохастичних прогнозів у разі використання інформації про оцінки майбутньої реакції оточення та впливу представників.

Завдання багатьох комівояжерів

У своєму історичному формулюванні завдання комівояжера полягає в тому, щоб знайти оптимальний шлях торговця між деякою кількістю пунктів маршруту з початкової точки до кінцевої. При цьому у вихідному завданні комівояжера розглядається лише один торговець. У задачі багатьох комівояжерів розглядається пошук шляху для кількох торговців, причому кожен пункт маршруту повинен бути відвіданий один раз одним із торговців.

Очевидно, що замість торговців у цій задачі також можуть бути представлені БПЛА, яким потрібно облетіти кілька наземних об'єктів.

Існує безліч підходів до вирішення цієї задачі, серед яких є лише два універсальні – це генетичні алгоритми та метод повного перебору. Інші методи вирішення цього завдання вирішують його лише приблизно у випадку. Розглянемо один із таких методів – метод кластеризації.

Цей метод описаний у роботі [32]. У цій роботі пропонується спочатку провести кластеризацію всіх об'єктів за методом k -середніх. Цей метод полягає в тому, що всі об'єкти розбиваються на кількість кластерів k , що дорівнює кількості БПЛА таким чином:

- випадково на полі розв'язання задачі викидається k точок, які є центрами кластерів (центроїдами);
- кожен об'єкт заноситься в кластер того центроїду, якого він знаходиться найближче;
- після того, як усі об'єкти занесені до кластерів, позиції центроїдів перераховуються таким чином, щоб сумарна відстань до всіх об'єктів виявилася мінімальною;

- кроки 2 і 3 повторюються доти, доки центроїди не перестануть пересуватися.

Таким чином, алгоритм виділяє групи об'єктів, які максимально схожі в собі, але при цьому максимально різні між собою.

Після проведення кластеризації до об'єктів усередині кожного кластера застосовується алгоритм «упаковки», суть якого полягає в тому, щоб перевести координати кожного з об'єктів у полярні, а поміту відсортувати їх по куту повороту, а потім по радіусу в порядку зростання. Таким чином, виходить деяка послідовність обльоту об'єктів, яка оптимізуватиметься на наступних кроках.

До отриманої послідовності застосовується алгоритм імітації відпалу (алгоритм пошуку мінімуму деякої функції), цільовою функцією якого є час обльоту об'єктів у заданій послідовності.

Останнім кроком даного методу є застосування алгоритму пошуку . search », суть якого зводиться до того що, якщо алгоритм знаходить рішення, яке потенційно є оптимальним, він «забороняє» його, і «дозволяє» рух у бік максимізації часу польоту БПЛА. Таким чином, алгоритм перешкоджає "застрягання" пошуку в локальних мінімумах.

Сильні сторони:

- застосування безлічі способів запобігання попаданню в локальні мінімуми.

Слабкі сторони:

- виключення взаємодії між БПЛА;
- застосовується відразу кілька методів пошуку та оптимізації, що суттєво збільшує час розрахунку;
- метод застосовний тільки для нерухомих об'єктів.

Розробка моделі одиночних дій БПЛА

Вирішується завдання пошуку оптимального маршруту обльоту об'єктів, що рухаються одним БПЛА з урахуванням вітру. Розіб'ємо її на кілька підзавдань.

1. Пошук оптимального маршруту обльоту нерухомих об'єктів одним БПЛА без урахування вітру;
2. Облік рухливості об'єкта;
3. Врахування вітру;

Для розв'язання задачі запишемо алгоритм перельоту БПЛА до точки з певними координатами. Вихідними даними для нього є:

1. Початкові координати БПЛА;
2. Початковий кут курсу БПЛА;
3. Координати об'єкта;
4. Мінімальний радіус розвороту БПЛА;
5. Координати точки.

Проілюструємо це рисунку 2.20.

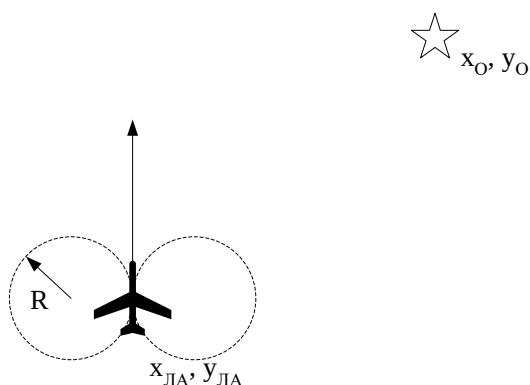


Рисунок 2. 20 Початкові дані для задачі, де x_{LA}, y_{LA} – початкові координати БПЛА, x_O, y_O – початкові координати об'єкта, R – мінімальний радіус розвороту БПЛА, стрілкою вказано початковий напрямок польоту БПЛА.

Для побудови оптимальної траєкторії польоту до точки розіб'ємо політ на 2 етапи:

1. Політ по дузі радіусом R ;
2. Політ прямо до об'єкта.

Легко показати, що другий етап полягатиме в польоті по дотичній, проведеній з точки (x_o, y_o) до найближчого з кіл, що обмежують зону недосяжності БПЛА.

Знайдемо точку торкання. Для цього звернемося до рисунка 2.21.

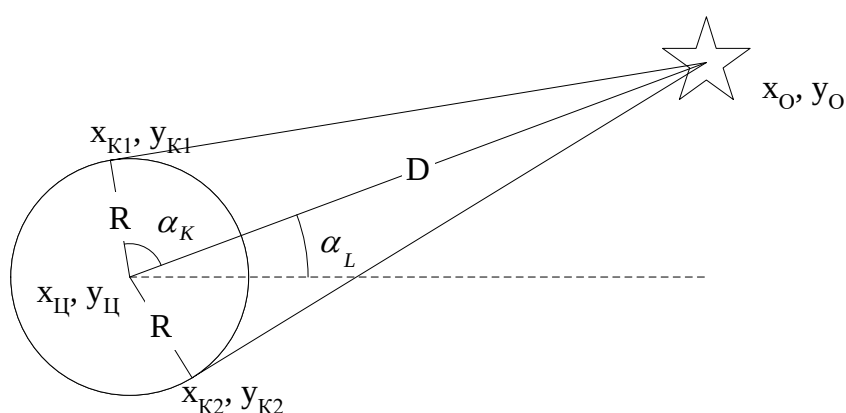


Рисунок 2.21 Знаходження точки торкання

Знайдемо кут α :

$$\alpha = \arccos\left(\frac{R}{D}\right)$$

Тепер, знаючи цей кут, легко знайти координати точки дотику:

$$x_{\hat{e}1,2} = x_o + R \cdot \cos(\alpha_L \pm \alpha_K)$$

$$y_{\hat{e}1,2} = y_o + R \cdot \sin(\alpha_L \pm \alpha_K)$$

Після того, як ми визначили точки торкання, виберемо з них ту, при польоті через яку ми рухатимемося у бік об'єкта. І тому введемо кілька додаткових кутів (рисунок 2.22).

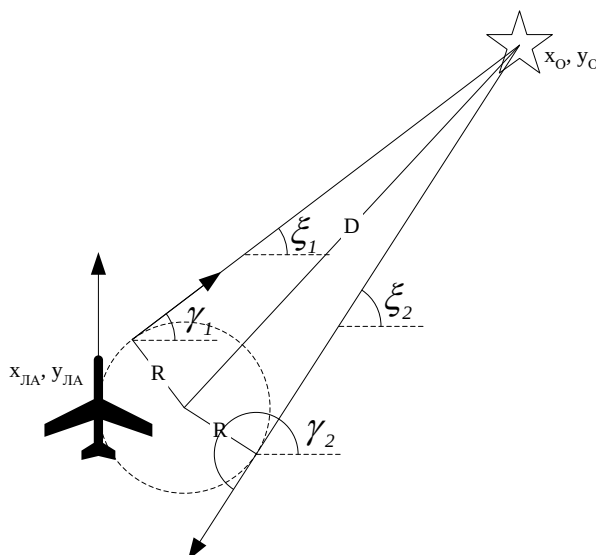


Рисунок 02 Вибір точки торкання

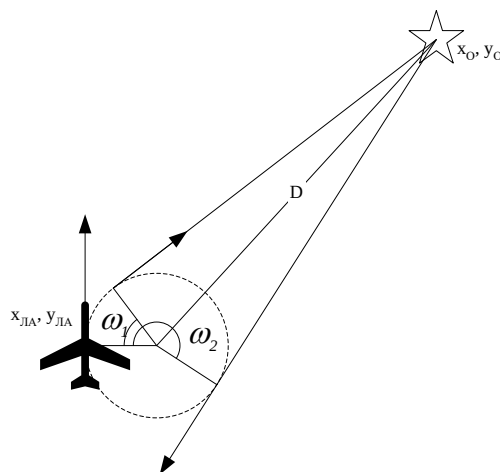
Тут $\gamma_{1,2}$ – кути між векторами швидкості БПЛА та віссю X у точках торкання.

$\xi_{1,2}$ – Кути між прямими, що з'єднують точки торкання з об'єктом, і віссю X

.

Далі, із двох пар $\gamma_1 - \xi_1$ і $\gamma_2 - \xi_2$ вибирається та, кути у якій збігаються за величинами. Це й буде точка, через яку БПЛА повинен полетіти, щоб вийти на ділянку польоту по прямій до об'єкта.

Тепер визначимо довжину траєкторії, для чого введемо ще один кут $\omega_{1,2}$, що характеризує кут повороту вектора швидкості від початкового положення до положення, яке він займе у вибраній точці торкання (Рисунок 2.23).

Рисунок 2.23 Знаходження кута $\omega_{1,2}$

Тепер довжину траєкторії можна визначити як

$$L_{TP} = L_O + L_{II}, \text{ где}$$

$$L_O = R \cdot \omega;$$

$$L_{II} = \sqrt{(x_O - x_{ЛА})^2 + (y_O - y_{ЛА})^2}.$$

Аналогічним чином знаходимо довжину траєкторії у разі польоту по другому колу. Після того, як отримані довжини траєкторій при польоті по двох кіл, вибираємо ту з траєкторій, довжина якої буде мінімальна.

Завдання обліку рухливості об'єкта вирішуватимемо так. Ми припускаємо, що протягом того часу, за який БПЛА зблизиться з об'єктом, останній рухатиметься прямолінійно з постійною швидкістю. Таким чином, ми можемо знайти точку, після прибуття в яку БПЛА зустрінеється з об'єктом. Ілюстрація цього процесу наведено малюнку 2.24.

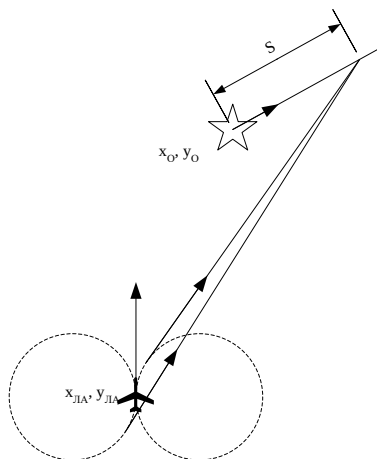


Рисунок 2.29 Пошук точки попередження

Для знаходження точки попередження ми можемо записати такі функції:

1. Функція, що визначає час руху об'єкта до однієї з точок, розташованих на прямій, якою рухається об'єкт;
2. Функція, що визначає час руху БПЛА до вищезазначеної точки.

Таким чином, ми отримуємо дві функції, точка перетину яких є вирішенням поставленого завдання.

Тепер ми легко можемо розрахувати координати точки зустрічі БПЛА та об'єкта та час перельоту до цієї точки.

Для врахування впливу вітру при пошуку оптимальної траєкторії слід запровадити деякі обмеження на кут крену (тобто залишити запас для компенсації впливу вітру на розворотах). Зрештою, це позначиться лише з мінімальному радіусі розвороту БПЛА, т.к. усі вищевикладені алгоритми здатні вирішити задачу пошуку оптимального маршруту при заданому радіусі розвороту.

Тепер, коли готові всі алгоритми пошуку мінімальної довжини траєкторії перельоту з поточного положення до певної точки, ми можемо вирішити задачу пошуку оптимального маршруту БПЛА по обльоту групи об'єктів, що рухаються. Це завдання ми вирішуватимемо за допомогою методу повного перебору.

Для цього збудуємо повне дерево, в якому розташуємо всі можливі комбінації обльоту об'єктів. Отже, наприклад, для трьох об'єктів отримаємо дерево, зображене рисунку 2.25.

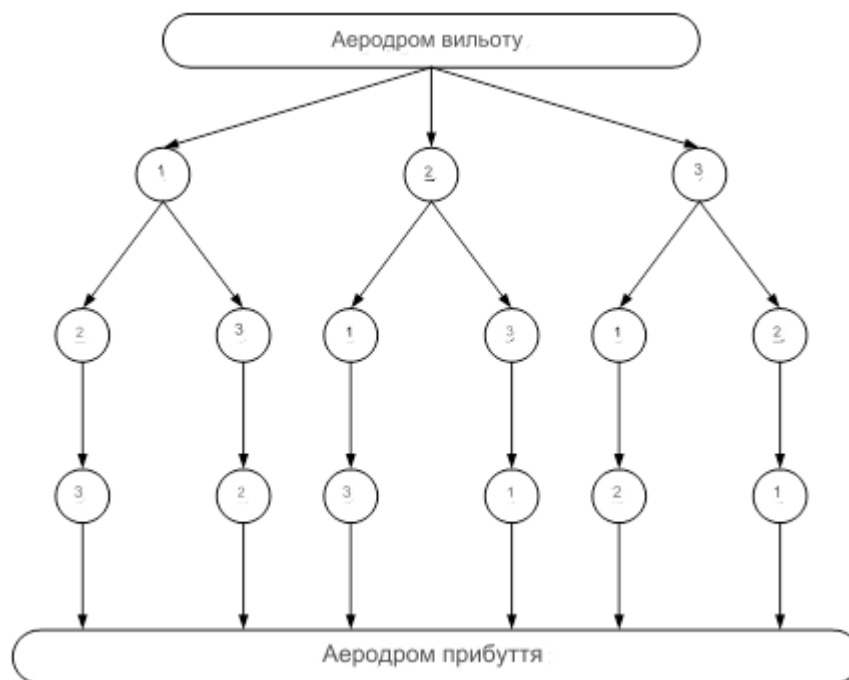


Рисунок 010 Приклад дерева для трьох об'єктів

На цьому малюнку в гуртках показані номери об'єктів, які на цьому кроці має пролетіти БПЛА.

Також слід зазначити, що у випадку, якщо при прольоті ЛА над черговим об'єктом, в області огляду бортової фотокамери виявляються інші об'єкти, то вони відразу ж обробляються, а час перельоту до цих об'єктів вважається рівним нулю.

Тепер, використовуючи описані вище алгоритми, знайдемо довжини всіх маршрутів і виберемо з них мінімальну. Цей маршрут і буде шуканим.

Даний алгоритм використовується для вирішення задачі, що відноситься до класу так званих NP -повних завдань, тому час, що витрачається на її розв'язання, зростає експоненційно зі зростанням кількості вхідних даних. З цього випливає, що цей алгоритм не підходить для включення його до складу програмного забезпечення БЦВМ. Відомо, що нейронні мережі є мультипаралельними структурами, що дозволяють за мінімальний час вирішувати завдання апроксимації складних нелінійних залежностей. Тому в роботі пропонується замінити трудомісткий та обчислювально-затратний алгоритм повного перебору на швидкодіючу нейронну мережу.

3. РОЗРОБКА СТРАТЕГІЙ ТА ЗАСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БПЛА У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ

У цьому розділі ми розглянемо стратегії та засоби, спрямовані на підвищення ефективності використання БПЛА в аграрному секторі. Зазначені стратегії та засоби створюють умови для оптимізації робіт, зменшення витрат та підвищення якості обробки полів.

Однією з ключових стратегій є розробка та вдосконалення систем штучного інтелекту та машинного навчання для підвищення автономності БПЛА. Це дозволить їм самостійно виявляти проблеми на полі, визначати оптимальні шляхи обробки, і узагалі підвищить їхню продуктивність.

Інтеграція різноманітних сенсорів (наприклад, камери, теплові картографи, сенсори вологості) та технологій Internet of Things (IoT) дозволяє збирати деталізовані дані про стан посівів. Це не тільки забезпечує точність робіт, але й дозволяє аналізувати ці дані для удосконалення стратегій обробки.

Застосування алгоритмів штучного інтелекту для розробки оптимальних маршрутів руху БПЛА на полі сприяє ефективнішому використанню часу та ресурсів. Це також допомагає уникати перекриття з іншими агрегатами та мінімізує вплив на рослини.

Precision Agriculture передбачає використання сучасних технологій для точного контролю над процесами сільського господарства. В контексті БПЛА це включає в себе точне розподіл добрив, оптимізацію поливу та виявлення хвороб і шкідників.

Однією з ключових аспектів ефективного використання БПЛА є забезпечення кібербезпеки систем. Захист від несанкціонованого доступу та забезпечення конфіденційності даних важливі для забезпечення безперебійної роботи БПЛА та уникнення можливих негативних наслідків.

Ефективне впровадження БПЛА в сільське господарство вимагає підготовки та навчання персоналу. Фахівці повинні бути ознайомлені з новітніми технологіями, вміти взаємодіяти зі штучним інтелектом та управляти апаратами.

Розробка і впровадження цих стратегій і засобів дозволить підняти ефективність використання БПЛА в сільському господарстві, що призведе до покращення врожаю та оптимізації сільськогосподарських процесів.

3.1. Розробка нейронної мережі – аналога модуля «Пошук оптимального маршруту для одного БПЛА»

Для ефективного використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) в сільському господарстві необхідно розробити та впровадити нейронну мережу, яка буде відповідальна за пошук оптимального маршруту для одного БПЛА. Цей модуль має сприяти покращенню ефективності використання БПЛА, оптимізуючи їхні рухи та зменшуючи час, необхідний для обробки полів.

Визначення завдань модуля

1. Збір та обробка даних: Розробка модулю повинна включати механізми для збору та обробки даних про стан полів, рельєф території, розташування культур тощо.
2. Визначення оптимального маршруту: Нейронна мережа повинна бути навчена визначати оптимальний маршрут для БПЛА, враховуючи різноманітні фактори, такі як погодні умови, різноманітність культур, існуючі обмеження та ризики.
3. Урахування динамічних факторів: Модуль повинен бути здатний адаптуватися до змінних умов під час роботи, таких як зміна погоди чи виявлення перешкод на маршруті.

Архітектура нейронної мережі

1. Вхідні дані:

- Дані від сенсорів БПЛА (камери, GPS, теплові картографи).
- Інформація про географічні особливості області.

2. Архітектура мережі:

- Кілька шарів нейронів, здатних аналізувати та інтерпретувати вхідні дані.
- Використання рекурентних або сверточних шарів для обробки послідовних або просторових залежностей.

3. Вихідні дані:

- Оптимальний маршрут для БПЛА з урахуванням вхідних факторів та обмежень.

Навчання та оновлення моделі

1. Даними для навчання:

- Історичні дані про обробку полів та маршрутизацію.
- Дані про різноманітні сценарії польотів.

2. Оптимізація моделі:

- Використання алгоритмів оптимізації для підвищення швидкості та точності роботи моделі.

3. Оновлення в реальному часі:

- Можливість оновлення моделі під час роботи на основі нових даних.

Інтеграція з системою управління БПЛА

Модуль повинен бути легко інтегрований з системою управління БПЛА для реалізації розробленого маршруту та координації дій з іншими модулями системи.

Тестування та валідація

1. Симуляції:

- Використання симуляцій для тестування роботи моделі в різних умовах.

2. Тестування на реальних об'єктах:

- Проведення політів БПЛА з використанням розробленого модуля на реальних полях для валідації результатів.

Розробка нейронної мережі для пошуку оптимального маршруту є ключовим етапом в підвищенні ефективності використання БПЛА в аграрному

секторі. Даний модуль може великою мірою покращити точність та швидкість обробки полів, що впливає на підвищення врожайності та зменшення витрат.

Для заміни модуля «Пошук оптимального маршруту для одного БПЛА» будемо використовувати нейронну мережу з прямими зв'язками (feedforward network) з одним прихованим шаром, на вхід якої будуть подаватися такі значення:

- відносні координати по осі X для кожного об'єкта (Δx);
- відносні координати по осі Y для кожного об'єкта (Δy);
- відносний кут курсу кожного об'єкта ($\Delta\psi$);
- швидкість кожного об'єкта (V_i);
- швидкість БПЛА (V);
- мінімальний радіус розвороту БПЛА (R_{min}).

Кількість нейронів вибиратиметься експериментальним шляхом. Кількість вихідних нейронів відповідатиме кількості об'єктів, на яку дана нейронна мережа розрахована. Вихідні значення нейронної мережі будуть формуватися таким чином, що той вихід, який відповідає наступному в маршруті об'єкту (тобто тому об'єкту, до якого зараз необхідно рухатися БПЛА), буде переходити в активний стан (значення цього виходу дорівнюватиме «1»), а решта виходів залишаться в пасивному стані (їх значення буде встановлено в «0»). Ця нейронна мережа зображена на рисунку 3.1.

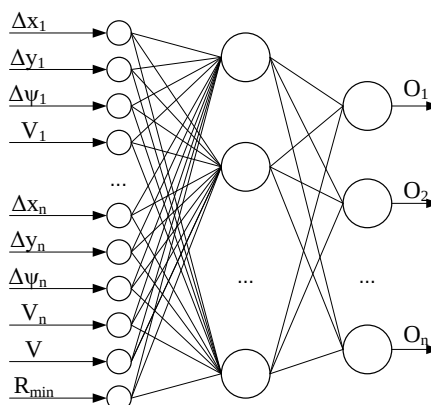


Рисунок 0 Нейронна мережа для заміни модуля пошуку оптимального маршруту

Внаслідок того, що нейронна мережа видає не весь маршрут, а лише номер наступного пункту, процес знаходження оптимального маршруту тепер проходитиме в кілька ітерацій наступним чином. Спочатку обчислюються відносні координати всіх об'єктів щодо поточного положення БПЛА. Потім обчислюється час t , необхідне підльоту до цього об'єкту, а сам об'єкт виключається з подальшої обробки. Після цього розраховується нове становище всіх об'єктів, яке вони займуть через час t . Після цього запускається наступна ітерація алгоритму оновлених значень координат об'єктів. [33]

3.2. Розробка моделі групових дій БПЛА

Модель групових дій для безпілотних літальних апаратів спрямована на вдосконалення координації та взаємодії між декількома БПЛА в аграрному секторі. Ця модель враховує велику кількість факторів, таких як різноманітність завдань, зона покриття, обмеження ресурсів та ефективність використання енергії.

Визначення завдань моделі групових дій

1. Розподіл завдань:

- Визначення і оптимізація завдань для кожного БПЛА в групі відповідно до їхніх технічних характеристик та особливостей.

2. Взаємодія та комунікація:

- Розробка ефективної системи комунікації між БПЛА для обміну інформацією про стан полів, прогноз погоди та взаємне сповіщення про виявлені проблеми.

3. Координація рухів:

- Розробка алгоритмів для координації рухів БПЛА з метою оптимізації покриття та уникнення конфліктів.

Архітектура моделі групових дій

1. Вхідні дані:

- Дані про стан полів та розташування культур.
- Інформація про погодні умови.
- Технічні характеристики кожного БПЛА в групі.

2. Архітектура моделі:

- Використання алгоритмів розподілу завдань та координації на основі понять множини інтерфейсів та взаємодії.

3. Вихідні дані:

- Оптимізовані завдання для кожного БПЛА.
- Координований план руху групи БПЛА.

Навчання та оптимізація моделі

1. Даними для навчання:

- Дані з попередніх групових завдань та їх ефективності.
- Сценарії взаємодії БПЛА в різних умовах.

2. Оптимізація алгоритмів:

- Застосування методів оптимізації для вдосконалення розподілу завдань та координації.

Інтеграція з системою управління БПЛА

Модель повинна бути легко інтегрована з системою управління кожним БПЛА в групі, забезпечуючи єдність управління та збільшуючи ефективність дій групи в цілому.

Тестування та валідація

1. Симуляції:

Використання симуляцій для перевірки роботи моделі в різних сценаріях.

2. Тестування на реальних об'єктах:

Проведення польотів групи БПЛА на реальних полях для валідації моделі в реальних умовах.

Розробка моделі групових дій для БПЛА є ключовим етапом в забезпеченні високої ефективності та спільної роботи БПЛА в аграрному господарстві. Ця

модель сприятиме оптимізації використання ресурсів, підвищенню продуктивності та зниженню витрат при виконанні групових завдань.

Тепер необхідно вирішити задачу розподілу об'єктів між кількома БПЛА. Для простоти розглянемо нагоду розподілу об'єктів між двома БПЛА. І тому призначимо кожному БПЛА область відповідальності, як показано рисунку 3.2.

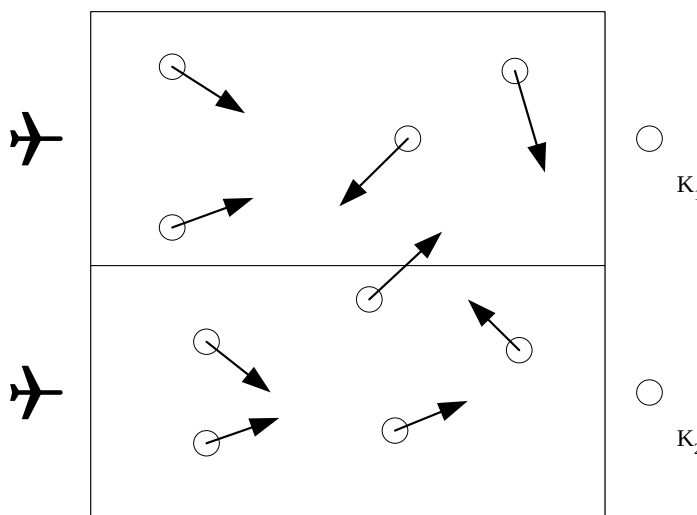


Рисунок 3.2 Розбиття області завдань на частини. K_1 , K_2 – кінцеві пункти маршруту першого та другого БПЛА відповідно

Протягом заданого проміжку часу t , при використанні безпілотних літальних апаратів, ми проведемо розділ об'єктів на три групи з урахуванням галузей відповідальності кожного БПЛА:

Група об'єктів для першого БПЛА:

В цю групу включаються об'єкти, які потрапляють під відповідальність першого БПЛА протягом заданого періоду часу t . Це може включати області полів, розташовані в межах зони дії першого БПЛА, та завдання, призначені для виконання цим БПЛА.

Група об'єктів для другого БПЛА:

Сюди входять об'єкти, які належать галузі відповідальності другого БПЛА на протязі заданого часу t . Це може включати інші області полів, які перебувають поза зоною впливу першого БПЛА, та завдання, призначені для другого БПЛА.

Спiрнi об'єкти:

Ця група включає об'єкти, які потрапили під вплив обидвох БПЛА за час t і перетнули лінію розділу областей відповідальності. Це може виникнути, наприклад, при зміні розташування або шляху об'єктів протягом періоду часу, що дозволяє їм перетнути межі впливу обох БПЛА.

Далі приймемо, що початкові та кінцеві пункти маршруту кожного БПЛА розташовані відповідно до рисунка 8 (точні значення відстаней та кутів можуть змінюватися відповідно до поточної навігаційної обстановки, але вони повинні бути точно відомі на момент початку роботи алгоритму).

Таким чином, об'єкти, що належать областям кожного БПЛА, будуть закріплені за цим БПЛА, а спiрнi об'єкти будуть розподілені між ними таким чином, щоб мінімізувати час обльоту всіх об'єктів групою БПЛА.

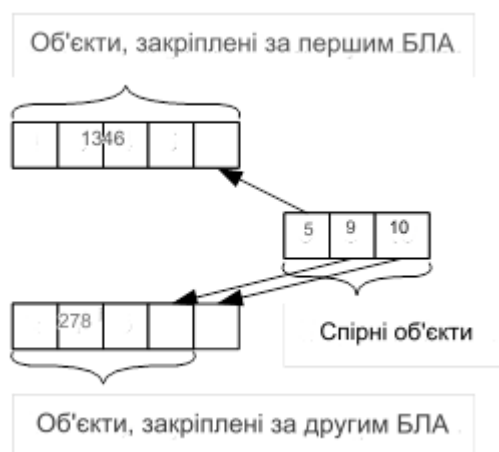


Рисунок 3.3 Приклад розподілу спірних об'єктів

Для досягнення оптимального розподілу об'єктів між безпілотними літальними апаратами (БПЛА), процес розподілу можна виконати за наступними кроками:

Створення списків об'єктів для кожного БПЛА:

Об'єкти, які належать до галузі відповідальності кожного БПЛА, заносяться у відповідний список.

Формування списку спірних об'єктів:

Зі спірних об'єктів створюємо всі можливі комбінації розподілу між БПЛА.

Приєднання списків до існуючих для кожного БПЛА:

Комбінації спірних об'єктів приєднуються до існуючих списків для кожного БПЛА.

Застосування алгоритму пошуку оптимального шляху:

Для кожного отриманого списку застосовуємо алгоритм пошуку оптимального шляху, який враховує технічні характеристики БПЛА, обмеження та вимоги до виконання завдань.

Аналіз результатів та вибір оптимального варіанту:

Після аналізу всіх складених комбінацій визначаємо ту, яка відповідає найкращому значенню критерію оптимальності. Це може включати мінімізацію часу виконання завдань, енергоспоживання або максимізацію покриття поля.

Вибір оптимальної комбінації як результату розподілу:

Отримана комбінація, яка відповідає найкращим критеріям оптимальності, обирається як кінцевий варіант розподілу об'єктів між БПЛА.

Цей процес дозволяє врахувати специфіку завдань, характеристики БПЛА та обмеження, щоб забезпечити оптимальний та ефективний розподіл об'єктів між безпілотними літальними апаратами.

3.3 Використання IDE для моделювання управління БПЛА

ROS є потужною платформою для створення робототехнічних систем, що включає велику кількість пакетів для вирішення різних завдань (від навігації та локалізації до комп'ютерного зору та симуляції), інструменти для високорівневої взаємодії із залізом робота, протоколи для обміну даними та багато іншого. Таким чином, ROS сильно полегшує розробку проектів для робототехніки, надаючи універсальний засіб розробки, незалежний від конкретної апаратної платформи робота.

Підготовка до встановлення. Налаштування репозиторіїв.

Почнемо з того, що існують чотири основні репозиторії:

- Main – безкоштовне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, що підтримується Canonical.
- Universe - безкоштовне програмне забезпечення з відкритим вихідним кодом, яке підтримує спільнота.
- Restricted – пропрієтарні драйвери для пристроїв.
- Multiverse - програмне забезпечення, обмежене авторським правом або юридичними питаннями.

Отже, починаємо налаштування. Спочатку відкриваємо вкладку "Програмне забезпечення Ubuntu" і в налаштуваннях "Ubuntu Software" ставимо галочки так, як показано на рисунку 3.4.

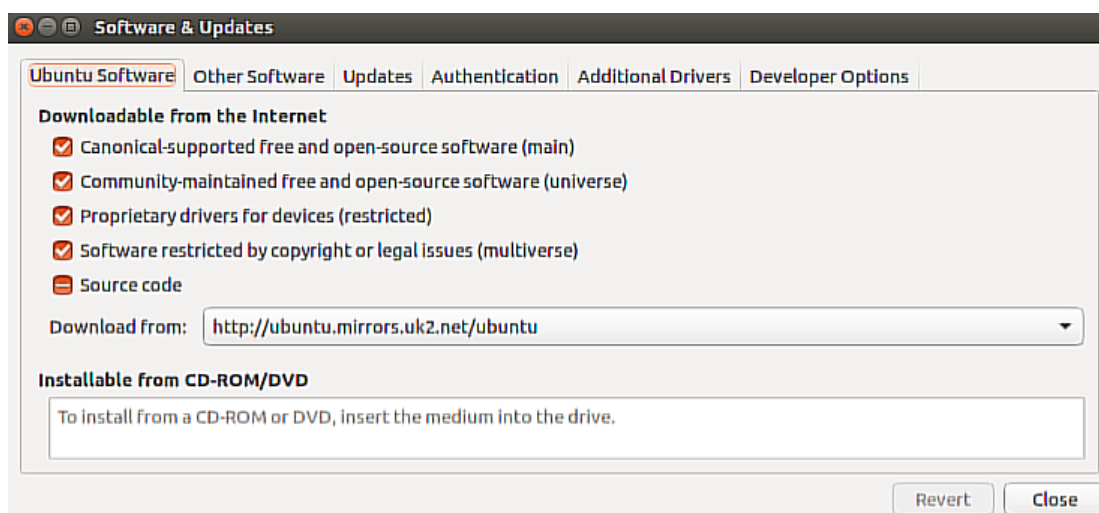


Рисунок 3.4. – Налаштування Ubuntu Software

Далі переходимо у вкладку "Other software" та ставимо галочки на пунктах Canonical Parthners та Canonical Parthners (source code)

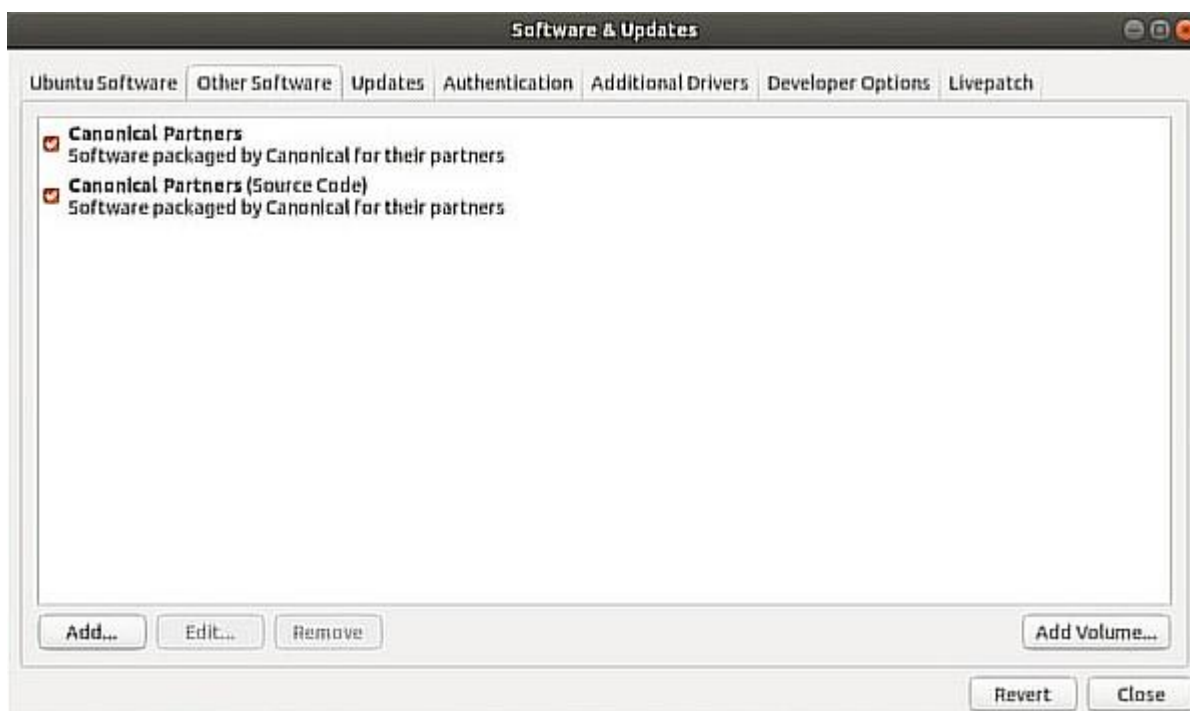


Рисунок 3.5. – Налаштування Other software

Після налаштування репозиторіїв можемо приступати до встановлення. Для початку налаштуємо систему на прийом пакетів програмного забезпечення з `packages.ros.org`. Вставляємо в термінал наступну команду:

```
sudo sh -c 'echo "deb http://packages.ros.org/ros/ubuntu $ (lsb_release -sc)
main"> /etc/apt/sources.list.d/ros-latest.list'
```

Після цього налаштовуємо свої ключі. Після додавання репозиторію вводь одну з наступних команд:

```
sudo apt-key adv --keyserver 'hkp://keyserver.ubuntu.com:80' --recv-key
C1CF6E31E6BADE8868B172B4F42ED6FBAB17C654
```

В якості альтернативи ми можемо використовувати `curl` замість команди `apt-key`, що може бути корисним, якщо ви знаходитесь за проксі-сервером:

```
curl -sSL
'http://keyserver.ubuntu.com/pks/lookup?op=get&search=0xC1CF6E31E6BAD
E8868B172B4F42ED6FBAB17C654' | sudo apt-key add
```

По-перше, оновлюємо пакети за допомогою команди

```
sudo apt-get update
```

Починаємо встановлення. Для цього треба вирішити, який ROS ви хочете собі встановити:

Desktop Full - та збірка, яку я вам рекомендую ставити. Ця версія встановлює все, що тільки можна: 2D/3D симулятори та програми сприйняття. Для того, щоб встановити цю версію, пишемо в терміналі:

```
sudo apt install ros-noetic-desktop-full
```

Desktop Instal - цей пакет містить у собі всі компоненти на базі ROS, а також такі елементи як rqt і rviz. Для встановлення цієї версії пишемо в терміналі наступну команду

```
sudo apt install ros-noetic-desktop
```

3. ROS-Base: (Bare Bones) – це просто голі бібліотеки та пакети ROS. Це той варіант, який підійде для професіоналів. Для встановлення цього варіанта пишемо в терміналі:

```
sudo apt install ros-noetic-ros-base
```

Також ви можете встановити будь-який конкретний пакет ROS, скориставшись командою:

```
sudo apt install ros-noetic
```

Встановлюємо пакет bash, де ми будемо використовувати ROS. Пишемо в терміналі:

```
source /opt/ros/noetic/setup.bash
```

До цього часу ви встановлювали все, що потрібно для запуску основних пакетів ROS. Для створення та керування власними робочими просторами ROS існують різні інструменти та вимоги, які розповсюджуються окремо. Наприклад, `rosinstall` - інструмент командного рядка, що часто використовується, який дозволяє легко завантажувати безліч вихідних кодів для пакетів ROS за допомогою однієї команди. Для його встановлення пишемо у терміналі:

```
sudo apt install python3-rosdep python3-rosinstall python3-rosinstall-generator python3-wstool build-essential
```

Перед тим, як ви зможете використовувати багато інструментів ROS, вам потрібно буде ініціалізувати `rosdep`. Він дозволяє легко встановлювати системні залежності для вихідного коду, який ви хочете скомпілювати, і потрібний для запуску деяких основних компонентів у ROS. Якщо ви ще не встановили `rosdep`, саме час його встановити. Для цього пишемо у терміналі:

```
sudo apt встановити python3-rosdep
```

Для ініціалізації `rosdep` пишемо в терміналі:

```
sudo rosdep init
```

І потім пишемо наступне:

```
rosdep update
```

В результаті даної маніпуляється проводиться встановлення ROS на обрану платформу Ubuntu 20.04

RViz (Robot Visualization) - це інструмент для візуалізації даних в робототехніці. Він є однією з ключових складових систем роботів ROS (Robot Operating System) та використовується для відображення інформації про роботів у вигляді тривимірних моделей, точок чи інших візуальних елементів.

Основні характеристики RViz:

1. Візуалізація сенсорів:

RViz дозволяє візуалізувати дані, отримані від різних сенсорів, таких як лідари, камери, відомості з відомостей про та інші.

2. Модель робота:

Ви можете завантажити та візуалізувати тривимірну модель вашого робота. Це дозволяє спостерігати за рухом робота та його взаємодією з оточуючим середовищем.

3. Відображення шляхів:

RViz може відображати шляхи, які були заплановані для руху робота, що корисно при тестуванні та налагодженні алгоритмів управління.

4. Візуалізація та аналіз даних:

Користувач може візуалізувати та аналізувати різноманітні дані, такі як хмара точок, вектори, траєкторії тощо.

5. Інтерактивний інтерфейс:

RViz має інтерактивний інтерфейс, що дозволяє користувачам взаємодіяти з візуалізацією, змінювати параметри та отримувати реальний час зміни.

RViz є потужним інструментом для розробників та дослідників в галузі робототехніки для візуалізації та налагодження алгоритмів управління та обробки даних в реальному часі.

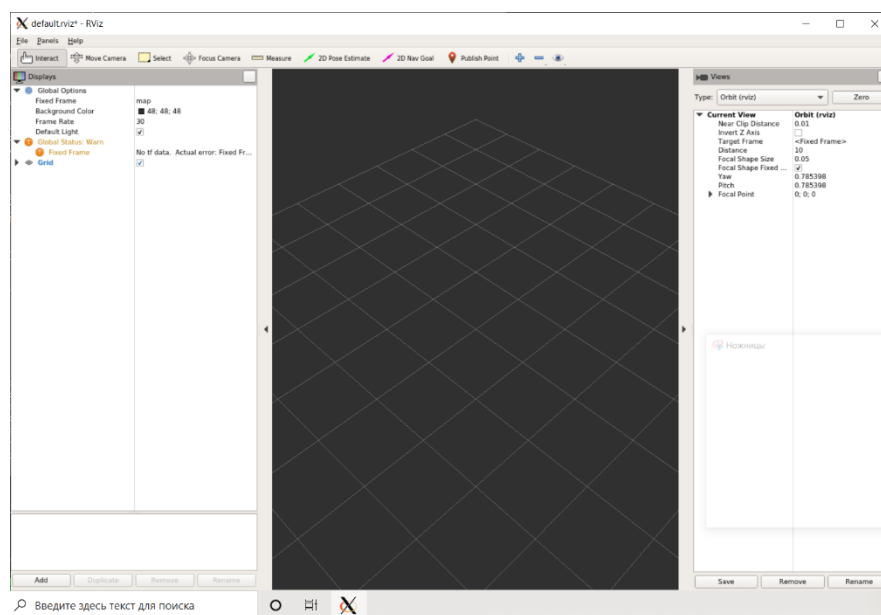


Рисунок 3.6. – Використання Rviz

Gazebo - це відкрите програмне забезпечення для симуляції роботів, яке дозволяє моделювати та тестувати робототехнічні системи в віртуальному середовищі. Він надає інструменти для створення динамічних моделей роботів, встановлення різних сценаріїв та взаємодії між різними об'єктами у симульованому світі.

Основні риси Gazebo:

1. Симуляція фізики:

Gazebo враховує фізичні властивості об'єктів, що дозволяє точно моделювати рух, зіткнення та взаємодію між об'єктами.

2. Віртуальні середовища:

Користувач може створювати власні віртуальні світи або використовувати готові моделі для симуляції робототехнічних завдань у різних умовах.

3. Моделювання роботів:

Розширений інструментарій для створення моделей різних типів роботів та додаткових сенсорів.

4. Візуалізація:

Надає візуалізацію симуляції, що дозволяє спостерігати за роботами та середовищем у реальному часі.

5. Взаємодія з кодом:

Розвита програмований інтерфейс для взаємодії з симуляцією з використанням різних мов програмування, таких як C++, Python та інші.

Gazebo часто використовується в робототехніці для розробки та тестування алгоритмів управління, систем обробки зображень та інших технічних рішень перед їхнім впровадженням на реальних роботах.

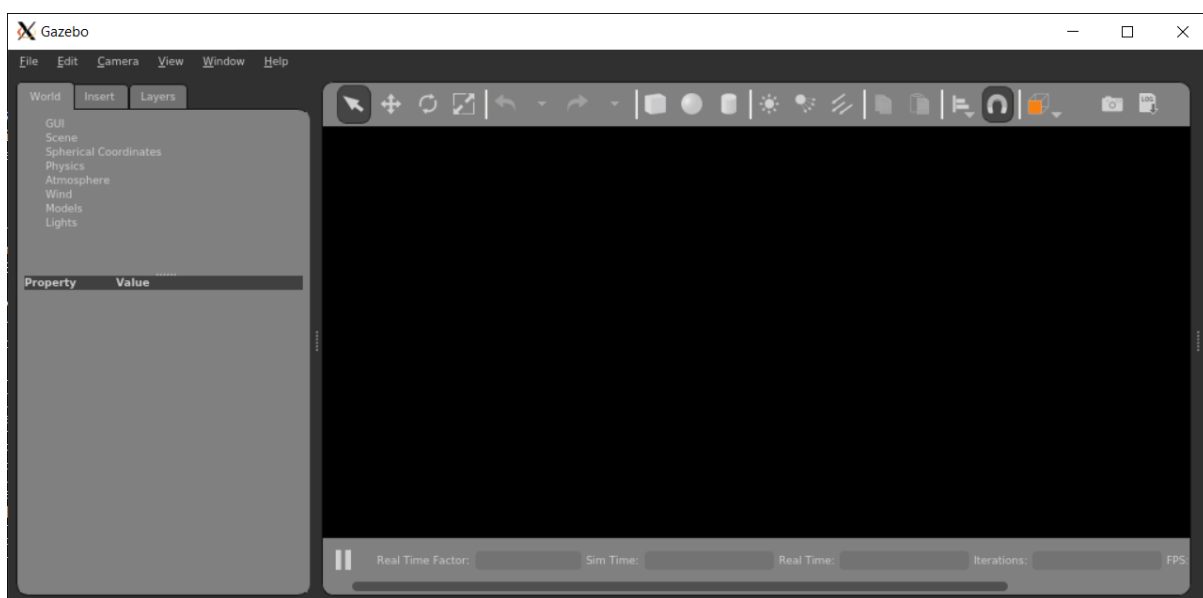


Рисунок 3.7. – Використання Gazebo

3.4 Розробка прикладного програмного забезпечення

Опишемо по етапу розробку кожної з частини програмного забезпечення разом з наведеним кодом.

Функція отримання символу з консолі без блокування введення.

Використовується для отримання клавіші з клавіатури.

```
char getch_noblocking()
{
    fd_set set;
    struct timeval timeout;
    int rv;
    char buff = 0;
    int len = 1;
    int filedesc = 0;
    FD_ZERO(&set);
    FD_SET(filedesc, &set);

    timeout.tv_sec = 0;
    timeout.tv_usec = 1000;

    rv = select(filedesc + 1, &set, NULL, NULL, &timeout);

    struct termios old = {0};
    if (tcgetattr(filedesc, &old) < 0)
        ROS_ERROR("tcgetattr()");
    old.c_lflag &= ~ICANON;
    old.c_lflag &= ~ECHO;
    old.c_cc[VMIN] = 1;
    old.c_cc[VTIME] = 0;
    if (tcsetattr(filedesc, TCSANOW, &old) < 0)
        ROS_ERROR("tcsetattr ICANON");
```

```

if(rv == -1)
    ROS_ERROR("select");
else if(rv == 0)
    ;
    //ROS_INFO("no_key_pressed");
else
    read(filedesc, &buff, len );

old.c_lflag |= ICANON;
old.c_lflag |= ECHO;
if (tcsetattr(filedesc, TCSADRAIN, &old) < 0)
    ROS_ERROR ("tcsetattr ~ICANON");
return (buff);
}

```

Визначення можливих станів місії та руху

```

static enum Mission_STATE {
    IDLE,
    TAKEOFF,
    KEYBOARD_CTR,
    LAND,
} mission_state=IDLE;

static enum MANEUVER{
    KB_NONE,
    KB_TAKEOFF,
    KB_LAND,
}

```



```

KB_FORWARD,
KB_BACKWARD,
KB_LEFT,
KB_RIGHT,
KB_UP,
KB_DOWN,
KB_TURNLEFT,
KB_TURNRIGHT,
} kb_state=KB_NONE;

static mavros_msgs::State current_state;
static bool local_pose_received = false;
static SE3 latest_pos;
static geometry_msgs::PoseStamped last_published_pose;
static geometry_msgs::PoseStamped publish_pose;
static double h_speed;
static double v_speed;
static double turn_speed;
static double update_rate=20.0;

```

Функція зворотнього виклику для отримання стану системи від mavros.

Використовується для оновлення глобальної змінної current_state.

```

void state_cb(const mavros_msgs::State::ConstPtr& msg){
    current_state = *msg;
}

```

Функція зворотнього виклику для отримання локального положення безпілота.

Використовується для оновлення глобальної змінної `latest_pos`.

```
void local_odom_cb(const geometry_msgs::PoseStampedConstPtr& msg){
    mtx_states_RW.lock();
    local_pose_received = true;
    latest_pos.translation().x()=msg->pose.position.x;
    latest_pos.translation().y()=msg->pose.position.y;
    latest_pos.translation().z()=msg->pose.position.z;
    latest_pos.so3()      =      SO3(Quaterniond(msg->pose.orientation.w,msg-
>pose.orientation.x,
                                msg->pose.orientation.y,msg->pose.orientation.z));
    mtx_states_RW.unlock();
}
```

Функція конвертації об'єкта SE3 в об'єкт `geometry_msgs::PoseStamped`.

Використовується для публікації нового положення безпілота.

```
geometry_msgs::PoseStamped update_pose_from_se3(SE3 se3)
{
    geometry_msgs::PoseStamped pose;
    pose.header.frame_id = "world";
    pose.pose.position.x = se3.translation().x();
    pose.pose.position.y = se3.translation().y();
    pose.pose.position.z = se3.translation().z();
    pose.pose.orientation.x = se3.so3().unit_quaternion().x();
    pose.pose.orientation.y = se3.so3().unit_quaternion().y();
    pose.pose.orientation.z = se3.so3().unit_quaternion().z();
    pose.pose.orientation.w = se3.so3().unit_quaternion().w();
    return pose;
}
```

А також опишемо головну функцію

```

int main(int argc, char **argv)
{
    // Ініціалізація ROS та створення вузла з ім'ям "offb_node"
    ros::init(argc, argv, "offb_node");
    ros::NodeHandle nh;

    // Створення підписника для отримання стану від mavros
    ros::Subscriber state_sub =
nh.subscribe<mavros_msgs::State>("mavros/state", 10, state_cb);

    // Створення видавця для публікації локального положення безпілота
    ros::Publisher local_pos_pub =
nh.advertise<geometry_msgs::PoseStamped>("mavros/setpoint_position/local", 10);

    // Створення службових клієнтів для армування та зміни режиму системи
    mavros
    ros::ServiceClient arming_client =
nh.serviceClient<mavros_msgs::CommandBool>("mavros/cmd/arming");
    ros::ServiceClient set_mode_client =
nh.serviceClient<mavros_msgs::SetMode>("mavros/set_mode");

    // Встановлення частоти публікації
    ros::Rate rate(20.0);

    // Очікування на з'єднання з mavros
    while(ros::ok() && !current_state.connected){
        ros::spinOnce();
        rate.sleep();
    }
}

```

```

}

// Ініціалізація об'єкта geometry_msgs::PoseStamped для визначення
початкового положення
geometry_msgs::PoseStamped pose;
pose.pose.position.x = 0;
pose.pose.position.y = 0;
pose.pose.position.z = 2;

// Створення об'єкта для встановлення режиму "OFFBOARD"
mavros_msgs::SetMode offb_set_mode;
offb_set_mode.request.custom_mode = "OFFBOARD";

// Створення об'єкта для армування безпілота
mavros_msgs::CommandBool arm_cmd;
arm_cmd.request.value = true;

// Час останнього запиту для управління режимом та армуванням
ros::Time last_request = ros::Time::now();

// Основний цикл програми
while(ros::ok()){
    // Перевірка та зміна режиму OFFBOARD
    if( current_state.mode != "OFFBOARD" &&
        (ros::Time::now() - last_request > ros::Duration(2.0))){
        if( set_mode_client.call(offb_set_mode) &&
            offb_set_mode.response.mode_sent){
            ROS_INFO("Offboard enabled");
        }
    }
}

```

```

        last_request = ros::Time::now();
    } else {
        // Перевірка та здійснення армування безпілота
        if( !current_state.armed &&
            (ros::Time::now() - last_request > ros::Duration(2.0))) {
            if( arming_client.call(arm_cmd) &&
                arm_cmd.response.success) {
                ROS_INFO("Vehicle armed");
            }
            last_request = ros::Time::now();
        }
    }

    // Публікація нового положення безпілота
    local_pos_pub.publish(pose);

    ros::spinOnce();
    rate.sleep();
}

return 0;
}

```

3.5. Файлова система розробленого програмного забезпечення

Так як проект побудований на схемі взаємодій деяких систем що формують систему ROS опишемо кожен з цих папок для розуміння того що входить до їх складу.

3rdPartLib	20.12.2023 3:52	Папка с файлами
gazebo	20.12.2023 3:52	Папка с файлами
include	20.12.2023 3:52	Папка с файлами
launch	20.12.2023 3:52	Папка с файлами
src	20.12.2023 3:52	Папка с файлами

Рисунок 3.8. – Корінь папки проекту

Опишемо файли що знаходяться в папці 3rdPartLib.

Файл з назвою "install3rdPartLib.sh" є скриптом у середовищі Unix-подібних операційних систем. Скрипт використовує для автоматизованої установки сторонніх бібліотек чи пакетів у проектах розробки програмного забезпечення.

Sophus	08.12.2023 4:21	Папка с файлами	
yaml-cpp-0.6.2	08.12.2023 4:14	Папка с файлами	
install3rdPartLib.sh	08.12.2023 4:14	sh_auto_file	1 КБ

Рисунок 3.9. – Папка 3rdPartLib

В роботі була використана YAML-CPP. YAML-CPP - це бібліотека на мові C++, яка дозволяє читати та записувати дані у форматі YAML. YAML (YAML Ain't Markup Language) - це людино-читаемий формат обміну даними, який часто використовується для конфігураційних файлів та обміну даними між мовами програмування.

Sophus - це бібліотека на мові C++, яка спеціалізується на роботі з групами Лі, які виникають в робототехніці та комп'ютерному зорі. Групи Лі включають у себе групи обертань та групи ейлерових перетворень, які широко використовуються для представлення та обробки обертань та положень в просторі.

Sophus надає зручний інтерфейс для роботи з обертаннями та трансформаціями в робототехніці та комп'ютерному зорі. Вона дозволяє вам

ефективно виконувати операції, такі як обчислення експоненціального відображення, логарифмічного відображення, композиції та інші операції над обертаннями та трансформаціями.

Папка "gazebo" містить конфігураційні файли, моделі роботів, сценарії, текстури та інші ресурси, які використовуються в Gazebo для симуляції роботів та інших об'єктів у віртуальному середовищі. Ця папка зберігається в директорії робочого простору для проектів, які використовують Gazebo.

media	08.12.2023 4:14	Папка с файлами
models	08.12.2023 4:14	Папка с файлами
worlds	08.12.2023 4:14	Папка с файлами

Рисунок 3.10. – Папка gazebo

Вміст папки "gazebo" виглядає наступним чином:

models/ - папка, де розташовані моделі роботів, об'єктів або інших об'єктів, які можуть бути використані у симуляціях.

worlds/ - папка, де можуть зберігатися конфігурації сцен, в яких відбувається симуляція.

textures/ - папка, де можуть розміщуватися текстури для візуалізації в симуляціях.

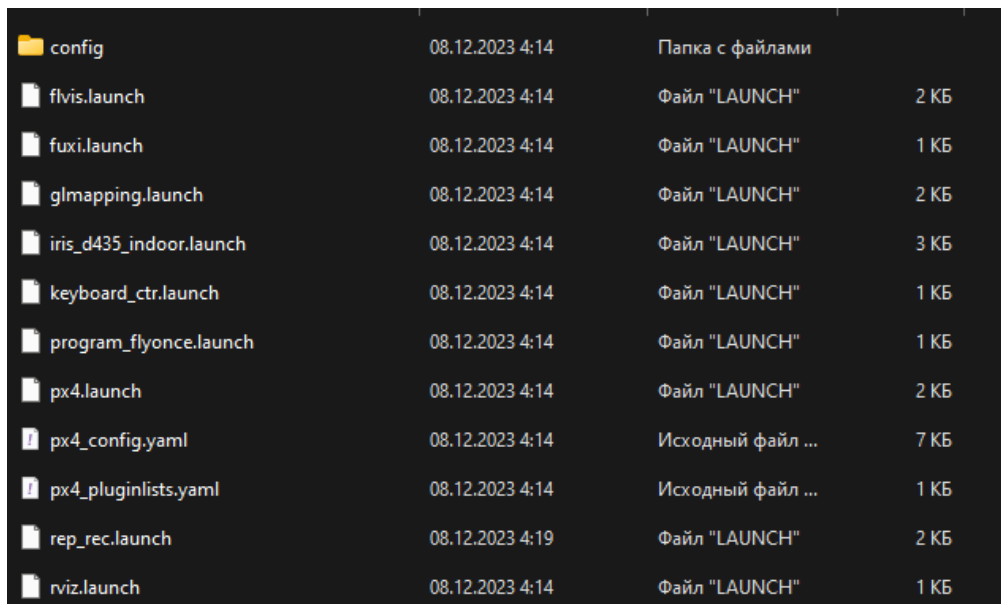
config/ - папка, де можуть зберігатися конфігураційні файли для Gazebo.

В папці include знаходиться папка realsense_gazebo_plugin в якій знаходяться файли що використовує ROS (Robot Operating System) і Gazebo для симуляції з камерами RealSense, бібліотека realsense_gazebo_plugin та є частиною ROS-пакету.

realsense_gazebo_plugin	08.12.2023 4:14	Папка с файлами
-------------------------	-----------------	-----------------

Рисунок 3.11. – Папка include

Файли `.launch` в контексті ROS (Robot Operating System) використовуються для запуску роботизованих програм, моделей та нод ROS. Ці файли містять конфігурації для запуску різних компонентів системи, таких як датчики, вузли обробки даних, симуляційні середовища тощо.



config	08.12.2023 4:14	Папка с файлами	
flvis.launch	08.12.2023 4:14	Файл "LAUNCH"	2 КБ
fuxi.launch	08.12.2023 4:14	Файл "LAUNCH"	1 КБ
gltmapping.launch	08.12.2023 4:14	Файл "LAUNCH"	2 КБ
iris_d435_indoor.launch	08.12.2023 4:14	Файл "LAUNCH"	3 КБ
keyboard_ctr.launch	08.12.2023 4:14	Файл "LAUNCH"	1 КБ
program_flyonce.launch	08.12.2023 4:14	Файл "LAUNCH"	1 КБ
px4.launch	08.12.2023 4:14	Файл "LAUNCH"	2 КБ
px4_config.yaml	08.12.2023 4:14	Исходный файл ...	7 КБ
px4_pluginlists.yaml	08.12.2023 4:14	Исходный файл ...	1 КБ
rep_rec.launch	08.12.2023 4:19	Файл "LAUNCH"	2 КБ
rviz.launch	08.12.2023 4:14	Файл "LAUNCH"	1 КБ

Рисунок 3.12. – Папка launch

Папка `src` містить наступні файли:

1. `RealSensePlugin.cpp`
2. `gazebo_ros_realsense.cpp`
3. `gt2visionpose.cpp`
4. `keyboard_ctl.cpp`
5. `offb.cpp`
6. папки `utils` та `movement`

Опишемо кожен файл детальніше:

1. `RealSensePlugin.cpp`:

- Цей файл містить реалізацію плагіну (Gazebo plugin) для інтеграції камер RealSense з симулятором Gazebo.
- Він включає логіку для відтворення реалістичних зображень та поведінки камер у симуляції.

2. `gazebo_ros_realsense.cpp`:

- Цей файл, є частиною ROS-пакету для взаємодії з симулятором Gazebo та камерами RealSense.
- Включає вузли ROS для обробки даних від камер або взаємодії з іншими компонентами системи.

3. gt2visionpose.cpp:

- Цей файл, має відношення до визначення положення об'єктів на основі візуальних даних.
- Містить реалізацію алгоритмів комп'ютерного зору для визначення позицій об'єктів у візуальному полі.

4. keyboard_ctl.cpp:

- Цей файл включає реалізацію класу або модуля для керування системою за допомогою клавіатури.
- Містить обробник подій клавіш та логіку керування для роботи чи іншого об'єкта.

5. offb.cpp:

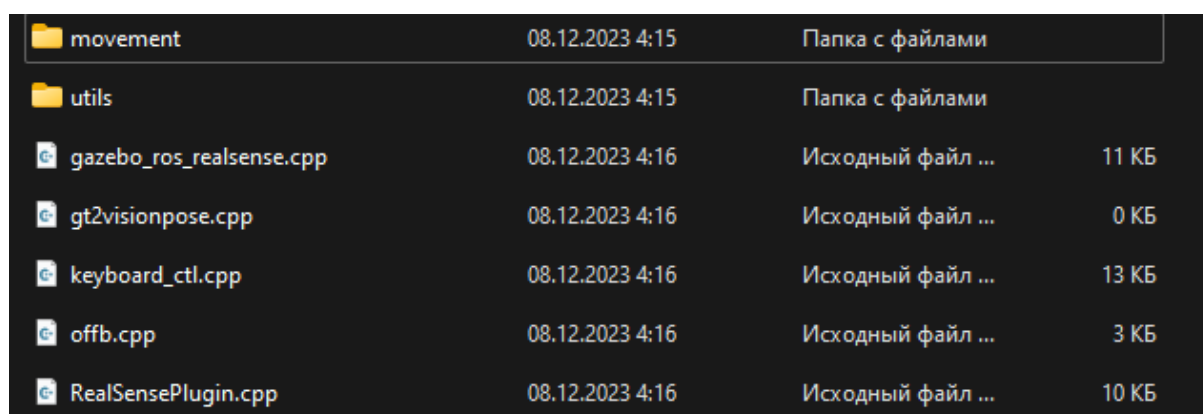
- Цей файл, стосується системи відслідковування об'єктів або польоту за допомогою клавіатури.
- Містить логіку керування польотом та позиціонуванням у просторі.

6. Папка utils:

- Ця папка, містить різні корисні службові файли і інструменти, які використовуються в інших частинах програмного забезпечення.

7. Папка movement:

- Ця папка може містити файли, пов'язаний з рухом і керуванням об'єктами в симуляції.



movement	08.12.2023 4:15	Папка с файлами	
utils	08.12.2023 4:15	Папка с файлами	
gazebo_ros_realsense.cpp	08.12.2023 4:16	Исходный файл ...	11 КБ
gt2visionpose.cpp	08.12.2023 4:16	Исходный файл ...	0 КБ
keyboard_ctl.cpp	08.12.2023 4:16	Исходный файл ...	13 КБ
offb.cpp	08.12.2023 4:16	Исходный файл ...	3 КБ
RealSensePlugin.cpp	08.12.2023 4:16	Исходный файл ...	10 КБ

Рисунок 3.13. – Папка src

4. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

4.1. Проведення практичних експериментів для перевірки ефективності розроблених стратегій та засобів

Розглянемо просту реалізацію пошуку оптимального маршруту за допомогою розробленого алгоритму. Для цього розмістимо на площу декілька різних об'єктів, які можуть бути перешкодами або цілями для безпілотного літального апарату (БПЛА). Об'єкти можуть включати будівлі, дерева чи інші теренові об'єкти.

Розглянемо сценарій, де на площі розташовані декілька об'єктів: декілька як цілі для БПЛА та один як можлива перешкода. Ми будемо використовувати наш алгоритм для обчислення оптимального маршруту БПЛА, який обходить перешкоду та досягає обраної цілі.

Спочатку, ініціалізуємо початкове положення та стани об'єктів на площі. Потім визначимо цілі, до яких ми хочемо, щоб БПЛА дійшов, і вкажемо можливі перешкоди. Запустимо наш алгоритм пошуку маршруту, який автоматично обчислить оптимальний шлях для досягнення цілей, уникнення перешкод та мінімізації витрат енергії.

Результатом буде маршрут, який БПЛА буде слідувати, обходячи перешкоду та ефективно досягаючи цілей. Цей підхід може бути використаний в різних сценаріях, таких як автономна доставка, патрулювання або інші завдання, де оптимальне планування маршруту є важливим елементом.

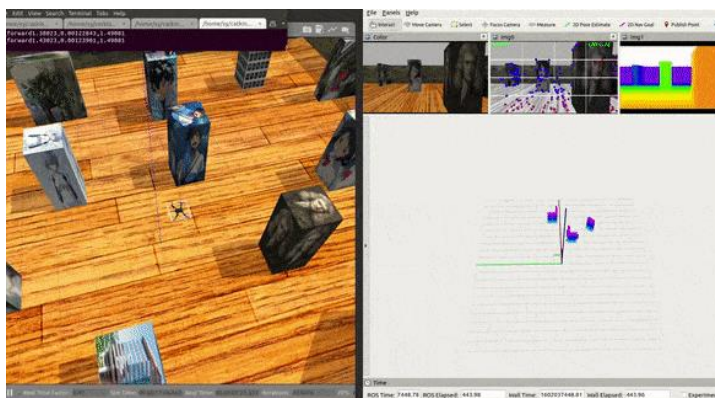


Рисунок 4.1. Загальний вигляд програмного продукту

Під час подорожі на місцевості дрон використовує вбудовані сенсори та алгоритми обробки даних для аналізу навколишнього середовища та будування тривимірної карти. Цей процес, відомий як картографування, є ключовою частиною систем автономної навігації для дронів. Під час аналізу дрон отримує інформацію про рельєф місцевості, розташування об'єктів та інші аспекти оточуючого простору.

Отримана тривимірна карта може використовуватися для планування оптимального маршруту на основі географічних особливостей місцевості. Дрон може автоматично побудувати маршрут, обходячи різні об'єкти або перешкоди на своєму шляху. Це особливо важливо в сценаріях, де потрібно облітати конкретні об'єкти або виконувати завдання навколо конкретних місць інтересу.

Побудована карта дозволяє дрону ефективно планувати свій рух, уникати перешкод та мінімізувати витрати енергії. Такий метод застосовується у різноманітних областях, включаючи агрономію, вивчення дикої природи, пошук та рятування, де точне визначення маршруту може визначати успішність виконання завдань.

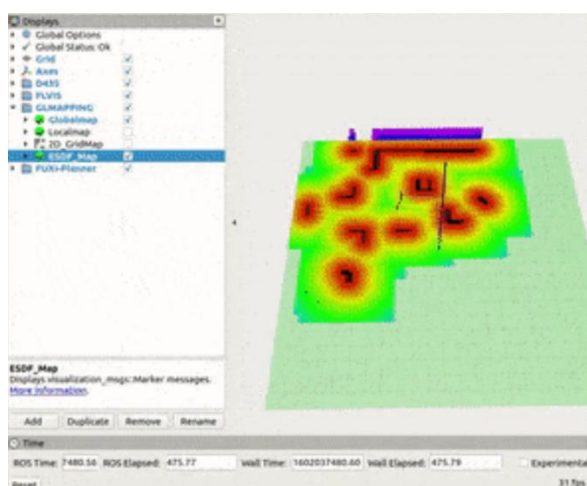


Рисунок 4.2. Побудова карти

При подорожі по місцевості дрон використовує свої вбудовані камери для аналізу оточуючого середовища та збирання великої кількості візуальних даних. Цей процес включає захоплення зображень і відео високої роздільної здатності з

повітря та їхнє подальше оброблення для отримання повної та деталізованої картини навколишньої місцевості.

Зібрана візуальна інформація дозволяє дрону виявляти різноманітні деталі, такі як ландшафт, рельєф, водойми, рослинність та будівлі. Шляхом об'єднання цих даних, дрон може побудувати загальну картину або мапу області, що забезпечує повний обзор місцевості та розташування різних об'єктів.

Отримана в результаті аналізу камер інформація може використовуватися для різних цілей, таких як планування оптимальних маршрутів, визначення точок інтересу, моніторинг стану довкілля чи виконання завдань обстеження. Цей підхід робить дрон ефективним інструментом для вивчення і визначення параметрів великих територій та надає можливість оперативного прийняття рішень заснованих на візуальних даних.

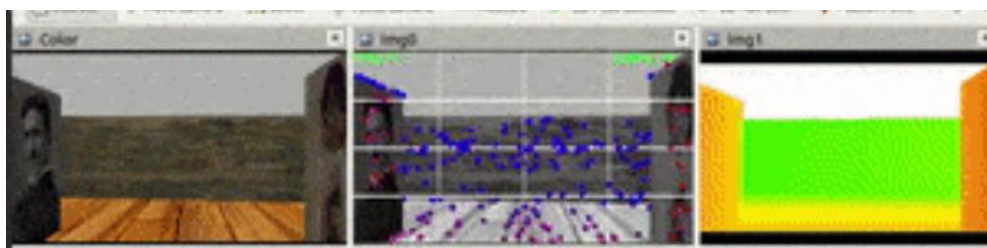


Рисунок 4.3. Побудова карти за допомогою камер вбудованих в дрон

4.2. Порівняльний аналіз покращених стратегій та засобів з існуючими рішеннями

Порівнюючи різні методи пошуку найкоротшого шляху, використовуючи дані з камер безпілотних літальних апаратів (БПЛА) порівняно з іншими традиційними підходами, наш метод виявляється надзвичайно перспективним та ефективним. Низка вагомих переваг сприяють визнанню його переваг у реальних умовах використання.

Точність та Розширеність Даних:

Використання камер БПЛА забезпечує велику точність та високу розширеність візуальних даних, що дозволяє докладно аналізувати оточуюче середовище.

Взаємодія з Змінним Середовищем:

Наш метод виявляється дуже адаптивним до змін у середовищі, здатним ефективно враховувати зміни освітлення та інші фактори, що можуть впливати на точність вимірювань.

Вартість та Практичність:

Застосування камер для збору даних є витратою ефективним та практичним рішенням порівняно із складними та дорогими сенсорами, такими як лідар або GPS-системи.

Автономність та Обчислювальна Складність:

Наш метод проявляє високий рівень автономії та здатність працювати в умовах, де інші сенсори можуть зазнавати обмежень, що робить його ідеальним для застосувань у важкодоступних областях.

Ці переваги підтверджують, що використання камер БПЛА для пошуку найкоротшого шляху є більш вигідним та ефективним рішенням порівняно із традиційними методами. Висока точність, ефективність та адаптивність до змін середовища роблять його передовим вибором для завдань пошуку оптимального маршруту.

4.3. Проблематика при тестуванні програмного продукту

При тестуванні методу пошуку найкоротшого шляху з використанням даних з камер БПЛА можуть виникати деякі проблеми, які варто урахувати та вирішити для забезпечення надійності та ефективності системи. Ось кілька потенційних проблем та шляхи їх вирішення:

1. Низька якість Зображень:

- Проблема: Низька якість або спотвореність зображень може призвести до неточностей у визначенні оточуючого середовища.
- Рішення: Забезпечення високоякісних камер та фільтрація даних для усунення шумів може поліпшити точність системи.

2. Обмежена Робоча Область:

- Проблема: Деякі камери можуть мати обмежену робочу область або потребувати оптимальне освітлення для правильного функціонування.
- Рішення: Вибір камер з великим кутом огляду та можливість використання різних типів камер для різних умов освітлення.

3. Сприйнятливість до Зовнішніх Впливів:

- Проблема: Зовнішні впливи, такі як атмосферні умови, можуть впливати на чіткість та видимість на зображеннях.
- Рішення: Використання алгоритмів компенсації атмосферних впливів або корекція даних для адаптації до змін у середовищі.

4. Обробка в Реальному Часі:

- Проблема: Обробка великої кількості даних в реальному часі може вимагати значних обчислювальних ресурсів.
- Рішення: Оптимізація алгоритмів обробки та використання високопродуктивного обладнання для забезпечення обробки в реальному часі.

5. Проблеми з Калібруванням:

- Проблема: Неправильне калібрування камер може призвести до геометричних спотворень та неправильного визначення відстаней.
- Рішення: Ретельне калібрування камер та використання алгоритмів корекції геометричних спотворень.

6. Безпека та Конфіденційність:

- Проблема: Використання камер може породжувати питання щодо безпеки та конфіденційності зображень.
- Рішення: Розробка та використання заходів безпеки, таких як шифрування даних та захист від несанкціонованого доступу.

Всі задані проблеми максимально можливо були вирішені. Тому розроблений метод є найбільш оптимальним у використанні.

ВИСНОВКИ

Безпілотні літальні апарати (БПЛА) користуються все більшим попитом у всьому світі, про що свідчить зростаюча кількість БПЛА різних класів на авіаційних виставках по всьому світу. Популярність цього класу літальних апаратів обумовлена тим, що вони мають багато переваг перед пілотованими літальними апаратами у вирішенні широкого спектру завдань, основними з яких є відсутність екіпажу, відносно невисока вартість БПЛА, низькі витрати на розробку, виробництво та експлуатацію, а також більша тривалість і дальність польоту. Аналізуючи сучасний стан технологій і підбиваючи підсумки, можна сказати, що за останні п'ять-сім років розвитку галузі було зроблено набагато більше, ніж за всі попередні роки. З точки зору різноманітності конструкторських рішень помітний стрімкий розвиток і великі перспективи авіаційної галузі. Особливо слід відзначити створення великої кількості транспортних безпілотних літальних апаратів розміром менше 1 метра². Очікується, що розвиток малих літальних апаратів з розмахом крила 2-5 метрів також принесе велику користь; можливості БПЛА зростають з кожним днем. Відсутність державного дозволу на проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт та необхідність використання власних коштів на будівництво БПЛА без чіткої гарантії їхньої майбутньої користі стримують розробників і власників від проведення високотехнологічних досліджень у цій сфері. У більшості випадків використовувався досвід створення та використання вже існуючих моделей БПЛА.

У цій статті розглянуто та проаналізовано існуючі відомі методи виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та об'єктів повітряного спостереження (ОВС). Розроблено математичні моделі параметрів польоту БПЛА, таких як висота, швидкість і напрямок польоту, а також різних типів і видів атак БПЛА на об'єкти АПО. Для моделювання динамічних умов повітряного простору в районі об'єктів критичної інфраструктури використано радіолокаційні дисплеї всеспрямованого бачення; модель IDE включає випадковий потік повітряних

суден уздовж зовнішніх кордонів регіону, пов'язаного з об'єктами критичної інфраструктури.

Результати, отримані в цьому дослідженні, можуть бути використані на практиці для створення набору таблиць, що відповідають різним умовам та режимам інтенсивності динамічної повітряної обстановки в районі IDE, а також можуть бути використані для моделювання повітряної обстановки різної складності.

Перспектива подальших досліджень

Ефективність БПЛА в сільському господарстві має вирішальне значення. За допомогою хмарних інструментів обробки даних з дронів та малих безпілотних літальних апаратів фермери можуть не лише відстежувати схожість рослин, а й контролювати відхилення техніки від встановленого маршруту польових робіт, не виходячи з офісу. Безпілотні літальні апарати - це нова транспортна парадигма, яка активно розвивається і потребує врегулювання нормативно-правовими актами в українському правовому полі.

Одним з найбільш перспективних напрямків використання дронів для України, аграрної країни з давніми сільськогосподарськими традиціями, є моніторинг стану рослинності та прогнозування врожайності на сільськогосподарських угіддях. Ця технологія базується на мультиспектральному скануванні та визначенні вегетаційного індексу.

Для масштабних операцій використовуються рої дронів. Модель взаємодії залежить від рівня автономності БПЛА. Пріоритетним напрямком розвитку цієї технології є створення повністю автономних роїв, які не потребують додаткових інструкцій від оператора в процесі виконання завдань. Зв'язок між БПЛА на основі штучного інтелекту наразі перебуває на стадії розробки, але вже є кілька успішних алгоритмів.

Питання співвідношення палива, ваги і дальності польоту, ймовірно, завжди буде актуальним для БПЛА. На сьогоднішній день технологія гібридних паливних

систем і водневі двигуни демонструють найбільші перспективи у збільшенні витривалості і дальності польоту БПЛА. Гібридні двигуни легкі, більш ефективні, ніж звичайні батареї, і потребують менше часу для заправки.

Включення в БПЛА автопілотів, як в ручному, так і в автоматичному режимах, вирішить проблеми управління і навігації та дозволить максимально ефективно і безпечно використовувати літальні апарати для вирішення різних сільськогосподарських завдань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Витрати підприємств на виробництво сільськогосподарської продукції. державна служба статистики України. 2018. url: <http://ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 2019).
2. "З висоти видно все" Звіт PwC про комерційне використання дронів у світі. url: www.dronepoweredolutions.com.
3. "Алгоритми створення стратегій управління процесом росту рослин в теплицях з урахуванням їх умов" Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: технології та енергетика АПК. 2019. С. 118-124.
4. Алла Ачасова. ефективне використання дронів у сільському господарстві: що нам потрібно? 2018. url: <http://www.50northspatial.org/ua/drones-agriculture-issues/> (дата звернення: 2019).
5. Кашкаров А., Діордієв В., Сабо А., Новіков Г. Напівавтономні дрони для сільського господарства на тракторній базі. acta technologica agriculturae. 2019. № 4. с. 152-155. doi: 10.2478/ata-. 2018-0027
6. Олексій Бойко. проблеми та небезпеки, пов'язані з дронами. Inc. 2019. url: <http://robotrends.ru/robopedia/problemy-i-opasnosti-svyazannye-sbepilotnikami.-incidenty>.
7. Джеремі Дженсен Сільськогосподарські дрони: як дрони революціонізують сільське господарство і виходять на цей бурхливий ринок. uav coach18 квітня 2019 року. url: <https://uavcoach.com/agricultural-drones> (останній доступ: 2019).
8. James M. Brady, M. Dale Stokes, Jim Bonnardel, Timothy H. Bertram. Вимірювання концентрації аерозольних частинок безпілотними авіаційними системами Quadrotor. Наука про навколишнє середовище та технології. 2019. 50 (3). с. с. 1376-1383. doi: 10.1021/acs.est.5b05320.
9. Хуан Хесус Ролдан, Пабло Гарсія-Аунон, Маріо Гарсон, Хорхе де Леон, Хайме дель Серро, Антоніо Баррієнтос. Гетерогенна мультироботна система для картографування змінних парникового середовища. Датчики.

10. Франческа Лопес Гранадос, Хорхе Торрес-Санчес, Ана Ізабель де Кастро, Анжеліка Серрано-Перес, Франциско-Хав'єр Месас Карраскоса, Хосе Мануель Пенья. Ранній об'єктний моніторинг бур'янів у посівах трав за допомогою знімків БПЛА з високою роздільною здатністю. Агрономія для сталого розвитку. 2019. № 36: 67. DOI: 10.1007/s13593-016- 0405-7

11. He Xiongkui, Bonds Jane, Herbst Andreas, Langenakens Jan. Останні розробки безпілотних літальних апаратів для захисту рослин у Східній Азії. міжнародний журнал сільськогосподарської та біологічної інженерії. 2019. № 10. 3. с. 18-30. doi: 10.3965/j.ijabe.20171003.3248

12. Yamaha запускає сільськогосподарські дрони 2018 р. URL: <https://robomhunter.com/news/yamaha-predstavilaselskohozyaistvennii-dron> (дата звернення: 2019).

13. Інноваційні перспективи просування засобів захисту рослин. 2019. url: <https://smartfarming.ua/ru-blog/innovatsijni-perspektivi-vnesennya-zzr> (дата звернення: 2019).

14. Куценко Ю.М., Яковлев В.Ф., Смуригін В.М., Ковальов О.В., Вужицький А.В. Електричні машини та апарати: підручник: Аграрна освіта, 2020. 449 с.

15. Агрокоптер або польовий дрон. Агробізнес сьогодні. URL: <http://agrobusiness.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1089-ahrokopter-abo-dron-polovyi.html>.

16. Глобальний огляд безпілотників. Агробізнес сьогодні. URL: <http://agrobusiness.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/12613-doslidzhennia-droniv-u-sviti.html>.

17. Офіційний сайт американської дослідницької компанії AUVSI: <https://www.auvsi.org/>.

18. Маркетинговий підхід до аналізу конкурентоспроможності безпілотних літальних апаратів Комісарчик О.Є., Зозульов О.В. URL: <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/10779/1/58.pdf>.

19. Писаренко Н.Л., Зозульов О.В. Ринкове позиціонування: з чого починається створення успішних брендів.

20. Сучасні тенденції розвитку інтегрованих інерціальних супутникових навігаційних систем для літальних апаратів. Наукові праці Національного авіаційного інституту. 2023. № 9 (16). С. 77-85.

21. Ваш путівник по комп'ютерному зору в технології безпілотних літальних апаратів. url: <https://keymakr.com/blog/computer-visionin-drone-technology> (дата звернення: 27.03.2023).

22. Комп'ютерний зір у дронах зі штучним інтелектом. URL: <https://www.superannotate.com/blog/computer-vision-in-ai-drones> (дата звернення: 27.03.2023).

23. Автоматизоване дистанційне спостереження: як системи менатір допомагають компаніям приймати обґрунтовані бізнес-рішення. url: <https://culver.aero/articles/how-menatir-system-helps-businesses-makeinformed-management-decisions> (дата звернення: 27.03.2023).

24. Skyton. Сфери застосування. URL: <https://skyeton.com/komertsiynevikoristannya> (дата звернення: 27.03.2023).

25. Campion M., Ranganathan P., Falke S. Review of UAV swarm communication architectures and future directions. Proc. IEEE Int. Proc. Electro/Inf. Technol. 2020 травень. с.0903-0908.

26. Нелінійне планування траєкторії на основі фільтра Калмана та ієрархічне уникнення зіткнень для декількох БПЛА. Безпілотні літальні апарати. 2023. № 7. 142.

27. Сторожик Д.В., Муравйов О.В., Протасов А.Г., Баженов В.Г., Богдан Г.А. Багатоспектральне комплексування зображень як метод підвищення інформативності при бінарній сегментації. Наукові вісті КПП ім. Ігоря Сікорського. 2020. № 2. С . 82-87.

28. Сучасний стан безконтактного вимірювання температури Materialy XVI Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji "Dynamika naukowych badań - 2020". 2020. т. 7, с. 110-115.

29. Jyoti Prakash Hati et al. Класифікація мангрових заростей з використанням повітряного гіперспектрального знімка AVIRIS-NG та інших космічних гіперспектральних знімків Єгипетський журнал дистанційного зондування Землі та космічних наук. 2021. vol. 24, no. 2, pp. 273-281.

30. Нові напрямки розвитку сучасних лазерних далекомірів: Матеріали 9-ї Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених та студентів. 2020. с. 38.

31. Гібридні дрони, БПЛА та БПЛА. URL: <https://www.unmannedsystemtechnology.com/expo/hybrid-drones> (дата звернення: 27.03.2023).

32. Канченко В.А., Мариношенко О.П., Карнаушенко Р.В., Чепур М.Л. Малий безпілотний літальний апарат ентомологічної доставки ліків // Інформаційні системи, механіка та керування. 2022. 88 - 95.

33. Мхитарян А. М. Аэродинамика. – М.: Машиностроение, 2022. - 448 с.

34. Бондаренко Н.В., Поспелов С.М., Персов М.П. Загальна та сільськогосподарська ентомологія. - М.: Колос, 2021. 416 с.

35. Зінченко Д.М., Салімі Хаджі М. Фарід, Яригін В.М. Аеродинамічний розрахунок спеціального сільськогосподарського літака // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба. - С. 37 - 40.

36. Перспективи використання безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві України // Вісник НУБіП України. - 27 - 32.

37. Мілоненко В., Маранда С., Карнаушенко Р. Безпілотний літальний апарат "А-1" для біологічного захисту рослин шляхом одночасного моніторингу стану полів // Техніка і технології АПК. - 2021. № 8 (35). - С. 11 - 14.

38. Потенціал безпілотників // Українські фермери. - 2020. - № 3. <http://www.agrotimes.net/magazines>.

39. Проблеми використання безпілотних літальних апаратів (дронів) у логістиці [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://scientificarticle.ru/images/PDF/2016/9/.pdf>.

40. Використання безпілотних літальних апаратів у логістиці [електронний ресурс] Режим доступу: <https://www.microdrones.com/en/industry-experts/unmanned-cargo/...>

41. Томлін К. Геоінформаційні системи даних та картографічне моделювання. у Prentice Hall Series in Geographic Information Science. Prentice Hall. 2019. 5 січня 2019 р. Цитування.

42. Суботін С. Синтез та спрощення нейро-нечітких мереж на прецедентах в задачах діагностики та розпізнавання образів / С. Суботін // Оптична пам'ять та нейронні мережі (Інформаційна оптика) - 2019 - Том 22, № 2 - С. 97 - 103.

43. Довбиш А. С. Основи проектування інтелектуальних систем: навчальний посібник / А. С. Довбиш. - Суми: Видавництво Сумського державного університету, 2019.

44. Довбиш А. С. Інформаційно-надлишковий алгоритм машинного навчання для системи розпізнавання транспортних засобів / А. С. Довбиш, Ю. В. Сімоновський, О. В. Коробченко, М. А. Летюга // Вісник НТУ "ХПІ", 2019. - № 45 (1217). - Р. 17-22.

45. Довбиш А. С., Будник М. М., П'ятаченко В. Ю., Мироненко М. І. Інформаційне екстремальне машинне навчання бортових систем розпізнавання транспортних засобів. кібернетика та системний аналіз, 2020, 56(4), с. DOI:10.1007/s10559-020-00269-y.

46. Yan Iekun. Як машини навчаються? Нейронні мережі та революція в глибокому навчанні, 2021.

47. Банзаф, вольфганг, нордін, пітер, келлер, роберт, франкона, франк (2019). Генетичне програмування - вступ.

48. Краснопоясовський А.С. Синтез знань в інтелектуальних системах управління: підхід на основі методів функціонального та статистичного тестування.

49. Пложенко О., Савченко Т., Мироненко М., Приходченко О. Знання та екстремальне машинне навчання для вбудованих систем розпізнавання наземних об'єктів. 2020 IEEE 11th International Conference on Reliability Systems, Services and Technologies, DESSERT 2020. сторінки: 213-218.

50. Мукунд Сундарараджан, Анкур Талі, Циці Ян. аксіоматична атрибуція для глибоких мереж [2019]. <https://arxiv.org/abs/1703.01365>

51. Карен Сімонян, Андреа Ведарді, Ендрю Зіссерман. Моделі класифікації зображень та візуалізація карти релевантності [2019]. <https://arxiv.org/abs/1312.6034>

52. Шон Сюй, Субхашіні Венугопалам, Мукунд Сундарараджан. атрибуція в масштабі та просторі. <https://archive.org/pdf/2004.03383.pdf>

53. Горбенко В. Безпілотні літальні апарати - на службу армії та народному господарству [Електронний ресурс] / Горбенко В. // Голос України. - 12.06.2019 - № 107 - Форма доступу: URL: <http://www.golos.com.ua/Article.aspx?id=136248>

54. Аналіз експериментальних досліджень з великомасштабного планування сільських населених пунктів з використанням БПЛА / Галецький В., Глотов В., Колесніченко В. [та ін.] // Геодезія, картографія і аерофотознімання.

55. Галушко С. Безпілотні літальні апарати докорінно змінять обличчя авіації в майбутньому [Електронний ресурс] / Галушко С. // Авіапанорама. - 2020.- №: URL: http://aviapanorama.narod.ru/journal/2020_4/bpla.html

ДОДАТОК А ПРЕЗЕНТАЦІЯ

Засоби підвищення ефективності системи управління дронами в сільському господарстві

СТУДЕНТ: ТКАЧУК Т.М. КВ-22мп
КЕРІВНИК: АСИСТ. МОРОЗОВ К.В.

Актуальність тематики дослідження

- 1. Підвищення продуктивності**
Ефективне управління дронами може сприяти підвищенню продуктивності в сільському господарстві. Дрони можуть використовуватися для моніторингу, обробки різноманітних завдань, таких як зрошення, обробка польових культур, виявлення хвороб та багато іншого.
- 2. Оптимізація використання ресурсів**
Використання алгоритмів пошуку найкоротшого шляху дозволяє оптимізувати маршрути дронів, що призводить до більш ефективного використання палива, часу та інших ресурсів.
- 3. Сталість моніторингу**
Дрони можуть надавати постійний та стабільний моніторинг сільських угідь, що дозволяє оперативно виявляти проблеми та приймати рішення для їх вирішення.
- 4. Підвищення точності**
Використання точних алгоритмів та системи GPS підвищує точність розташування дронів, що є критичним для виконання завдань та якості зрошення чи обробки мікрохімічними речовинами.
- 5. Сприяння сталому розвитку**
Зменшення використання мікрохімічних речовин та оптимізація ресурсів може призвести до зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та сприяти сталому розвитку сільського господарства.
- 6. Інтеграція технологій**
Розвиток технологій у сфері дронів та алгоритмів пошуку найкоротшого шляху дозволяє інтегрувати їх з іншими сучасними технологіями та кимі як штучний інтелект машинного навчання та Інтернет речей.
- 7. Глобальний погляд**
Проблеми пов'язані з неефективністю управління дронами в сільському господарстві мають особливо актуальним контекст в умовах зростаючого населення та необхідності забезпечення продовольчої безпеки.

Постановка задачі, яка вирішується в даній роботі

- ▶ Аналіз потреб сільського господарства:
 - ▶ Дослідження конкретних потреб та викликів, що існують у сільському господарстві, які можна вирішити за допомогою дронів та автоматизованих систем.
- ▶ Визначення оптимальних функцій дронів:
 - ▶ Визначення завдань, які можуть бути виконані дронами для максимальної користі для сільського господарства.
- ▶ Розробка алгоритмів пошуку найкоротшого шляху:
 - ▶ Розробка або вибір алгоритмів, які дозволяють дронам ефективно обирати та прокладати оптимальні маршрути для виконання завдань.
- ▶ Інтеграція засобів машинного навчання
 - ▶ Використання методів машинного навчання для підвищення адаптивності системи управління, здатності адаптуватися до змінних умов.
- ▶ Оцінка ефективності:
 - ▶ Визначення критеріїв ефективності системи та виконання експериментів для оцінки досягнення поставлених цілей.
- ▶ Розробка інтерфейсів та засобів комунікації
 - ▶ Розробка інтерфейсів для взаємодії між дронами та центральною системою управління, забезпечення надійної комунікації. Розробка рекомендацій для впровадження:

Мета, об'єкт та предмет дослідження

- ▶ Метою дослідження є розробка та оптимізація системи управління дронами в сільському господарстві з використанням методів пошуку найкоротшого шляху. Головною метою є підвищення ефективності використання дронів для моніторингу, обробки польових культур та інших завдань в сільському господарстві.
- ▶ Об'єктом дослідження є система управління дронами в сільському господарстві. В рамках дослідження буде розглянуто якість та ефективність використання дронів для агрономічних завдань та методи оптимізації їхніх маршрутів.
- ▶ Предметом дослідження є алгоритми пошуку найкоротшого шляху для оптимального планування та керування маршрутами дронів у сільському господарстві. Вивчення включатиме розробку та оптимізацію цих алгоритмів з урахуванням специфіки завдань в аграрному секторі.

Методи вирішення поставленої задачі, розроблені в роботі

- ▶ Адаптивні алгоритми пошуку:
 - ▶ Розробка або використання адаптивних алгоритмів пошуку найкоротшого шляху, які можуть враховувати змінюючіся умови, такі як погодні умови, стан рослин тощо.
- ▶ Генетичні алгоритми:
 - ▶ Використання генетичних алгоритмів для оптимізації маршрутів дронів, враховуючи різні критерії, такі як відстань, час та обмеження ресурсів.
- ▶ Машинне навчання для прогнозування:
 - ▶ Використання методів машинного навчання для аналізу історичних даних та прогнозування змін у сільському господарстві, що може впливати на маршрути дронів.
- ▶ Методи інтеграції із системами GPS:
 - ▶ Розробка або використання методів інтеграції із системами глобального позиціонування для забезпечення точного визначення місцезнаходження дронів.

Підходи та алгоритми вирішення поставленої задачі

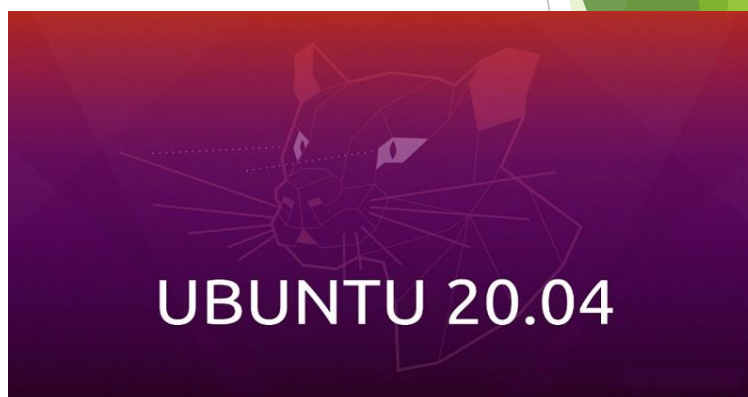
- ▶ Для вирішення поставленої задачі, було вирішено використовувати різні підходи та алгоритми, а саме:
- ▶ 1. Алгоритми пошуку найкоротшого шляху:
- ▶ А (A-star):* Є покращеною версією алгоритму Дейкстри та використовується для пошуку оптимального шляху.
- ▶ 2. Генетичні алгоритми використовуються для оптимізації маршрутів дронів, враховуючи різні фактори, такі як відстань, час, обмеження ресурсів.
- ▶ 3. Q-навчання: Метод машинного навчання, який використовується для прийняття рішень та оптимізації маршрутів на основі динамічних умов.
- ▶ 4. Розробка алгоритмів, які дозволяють дронам співпрацювати та координувати свої дії для оптимального покриття території.

Математичні моделі що були запропоновані в роботі

- ▶ Модель динаміки дронів:
 - ▶ Опис руху дронів та їхню динаміку враховуючи фізичні обмеження
- ▶ Функція обмежень:
 - ▶ Модель обмежень, таких як мінімізація витрат або максимізація покриття польової області, з урахуванням обмежень на ресурси, які можуть бути доступні.
- ▶ Модель оптимізації маршруту:
 - ▶ Алгоритм для оптимізації маршрутів з урахуванням вищезазначених функціоналів та обмежень.

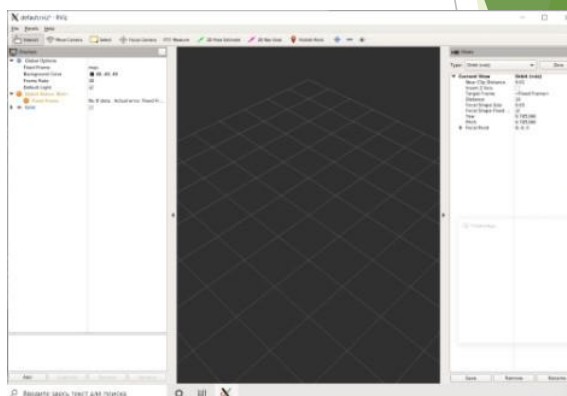
Операційна система для розробки програмного забезпечення

- ▶ Для розробки було обрано платформу Ubuntu 20.04 так як вона є найбільш оптимальною для роботи з ROS та моделювання схем по управлінню дронами. А також має сумісні програми що допомагають в розробці програмного забезпечення.



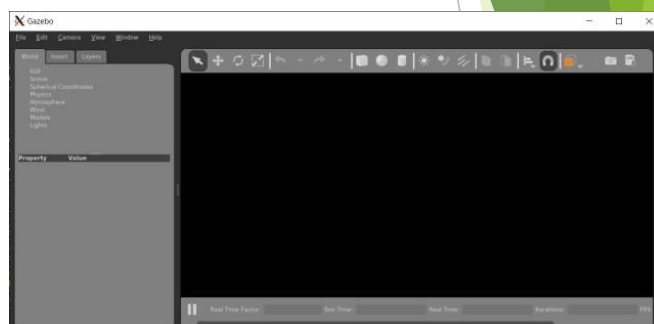
Використання Rviz

- RViz (Robot Visualization) - це інструмент для візуалізації даних в робототехніці. Він є однією з ключових складових систем роботів ROS (Robot Operating System) та використовується для відображення інформації про роботів у вигляді тривимірних моделей, точок чи інших візуальних елементів.



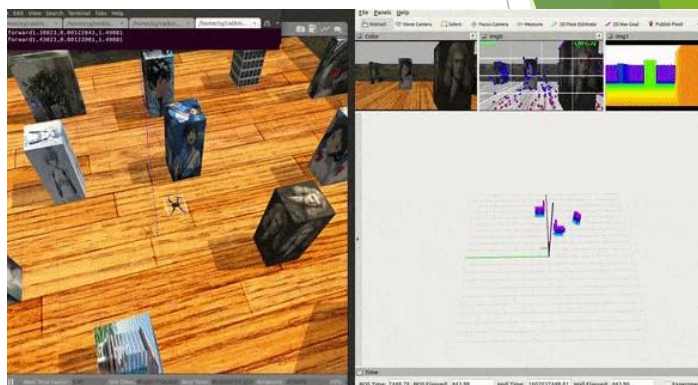
Використання Gazebo

- Gazebo - це відкрите програмне забезпечення для симуляції роботів, яке дозволяє моделювати та тестувати робототехнічні системи в віртуальному середовищі. Він надає інструменти для створення динамічних моделей роботів, встановлення різних сценаріїв та взаємодії між різними об'єктами у симульованому світі.



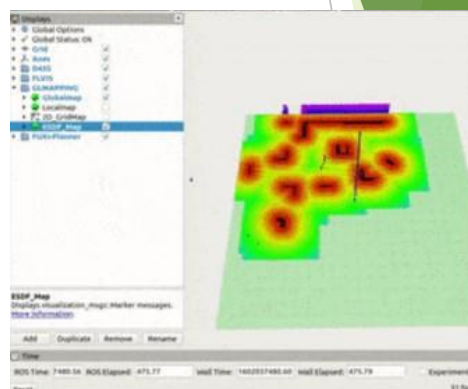
Загальний вигляд програми

- Для моделювання ситуації та тестування програмного забезпечення на карту додається декілька об'єктів. БПЛА в свою чергу обходить площу задану оператором та знаходить найкоротший шлях до цілей. Цілі можуть бути різного формату і їх кількість задається вручну оператором.



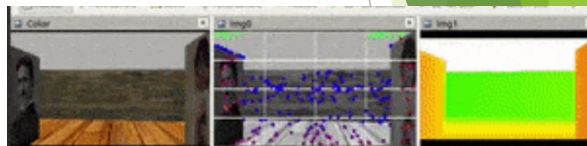
Побудова карти

- Побудована карта дозволяє дрону ефективно планувати свій рух, уникати перешкод та мінімізувати витрати енергії. Такий метод застосовується у різноманітних областях, включаючи агрономію, вивчення дикої природи, пошук та рятування, де точне визначення маршруту може визначати успішність виконання завдань.



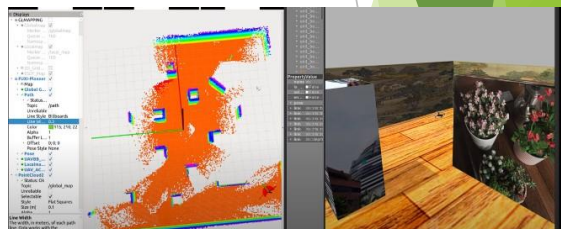
Аналіз інформації отримання дроном

- При подорожі по місцевості дрон використовує свої вбудовані камери для аналізу оточуючого середовища та збирання великої кількості візуальних даних. Цей процес включає захоплення зображень і відео високої роздільної здатності з повітря та їхнє подальше оброблення для отримання повної та деталізованої картини навколишньої місцевості.



Використання результатів

- Зібрана візуальна інформація дозволяє дрону виявляти різноманітні деталі, такі як ландшафт, рельєф, водойми, рослинність та будівлі. Шляхом об'єднання цих даних, дрон може побудувати загальну картину або мапу області, що забезпечує повний обзор місцевості та розташування різних об'єктів.
- Отримана в результаті аналізу камер інформація може використовуватися для різних цілей, таких як планування оптимальних маршрутів, визначення точок інтересу, моніторинг стану довкілля чи виконання завдань обстеження. Цей підхід робить дрон ефективним інструментом для вивчення і визначення параметрів великих територій та надає можливість оперативного прийняття рішень заснованих на візуальних даних.



Висновки

- ▶ Безпілотні літальні апарати (БПЛА) користуються все більшим попитом у всьому світі, про що свідчить зростаюча кількість БПЛА різних класів на авіаційних виставках по всьому світу. Популярність цього класу літальних апаратів зумовлена тим, що вони мають багато переваг перед пілотованими літальними апаратами: вирішенні широкого спектру завдань, основним з яких є відсутність екіпажу, відносно невисока вартість БПЛА, низькі витрати на розробку, виробництво та експлуатацію, а також більша тривалість і дальність польоту. Аналізуючи сучасний стан технологій і підбиваючи підсумки, можна сказати, що за останні п'ять-сім років розвитку галузі було зроблено набагато більше, ніж за всі попередні роки. З точки зору різноманітності конструкторських рішень помітний стрімкий розвиток і великі перспективи авіаційної галузі. Особливо слід відзначити створення великої кількості транспортних безпілотних літальних апаратів розміром менше 1 метра. Очікується, що розвиток малих літальних апаратів з розмахом крила 2-5 метрів також принесе велику користь. Можливості БПЛА зростають з кожним днем. Відсутність державного дозволу на проведення науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт та необхідність використання власних коштів на будівництво БПЛА без жодної гарантії їхньої майбутньої користі стримують розробників і власників від проведення високо технологічних досліджень у цій сфері. У більшості випадків використовувався досвід створення та використання вже існуючих моделей БПЛА.
- ▶ У цій статті розглянуто та проаналізовано існуючі відомі методи виявлення безпілотних літальних апаратів (БПЛА) та об'єктів повітряного спостереження (ОБС). Розроблено математичні моделі параметрів польоту БПЛА, таких як висота, швидкість і напрямок польоту, а також різних типів і видів атак БПЛА на об'єкти АПО. Для моделювання динамічних умов повітряного простору в районі об'єктів критичної інфраструктури використано радіолокаційні дисплеї в напрямку об'єкта. Модель IDE включає випадковий потік повітряних суден уздовж зовнішніх кордонів регіону пов'язаного з об'єктами критичної інфраструктури.
- ▶ Результати, отримані в цьому дослідженні, можуть бути використані на практиці для створення набору таблиць, що відповідають різним умовам та режимам інтенсивності динамічної повітряної обстановки в районі IDE, а також можуть бути використані для моделювання повітряної обстановки різної складності.

Перспектива подальших досліджень

- ▶ Ефективність БПЛА в сільському господарстві має вирішальне значення. За допомогою хмарних інструментів обробки даних з дронів та малих безпілотних літальних апаратів фермери можуть не лише відстежувати схожість рослин, а й контролювати відхилення техніки від встановленого маршруту польових робіт, не виходячи з офісу. Безпілотні літальні апарати - це нова транспортна парадигма, яка активно розвивається і потребує врегулювання нормативно-правовими актами в українському правовому полі.
- ▶ Одним з найбільш перспективних напрямків використання дронів для України, аграрної країни з давніми сільськогосподарськими традиціями, є моніторинг стану рослинності та прогнозування врожайності на сільськогосподарських угіддях. Ця технологія базується на мультиспектральному скануванні та визначенні вегетаційного індексу.
- ▶ Для масштабних операцій використовуються рої дронів. Модель взаємодії залежить від рівня автономності БПЛА. Пріоритетним напрямком розвитку цієї технології є створення повністю автономних роїв, які не потребують додаткових інструкцій від оператора в процесі виконання завдань. Зв'язок між БПЛА на основі штучного інтелекту наразі перебуває на стадії розробки, але вже є кілька успішних алгоритмів.
- ▶ Питання співвідношення палива, ваги і дальності польоту, ймовірно, завжди буде актуальним для БПЛА. На сьогоднішній день технологія гібридних паливних систем і водневі двигуни демонструють найбільші перспективи у збільшенні витривалості і дальності польоту БПЛА. Гібридні двигуни легкі, більш ефективні, ніж звичайні батареї, і потребують менше часу для заправки.
- ▶ Включення в БПЛА автопілотів, як в ручному, так і в автоматичному режимах, вирішить проблеми управління і навігації та дозволить максимально ефективно і безпечно використовувати літальні апарати для вирішення різних сільськогосподарських завдань.

Публікації в наукових виданнях:

- ▶ Назва статті: "Автономна система маршрутизації з використанням методів машинного навчання для аналізу зображень дрону"
 - ▶ Місце проведення: V Міжнародна студентська наукова конференція «Наука сьогодення: від досліджень до стратегічних рішень»
- ▶ Назва статті: "Тестовий експеримент з визначення ефективності засобів підвищення ефективності системи управління дронами в сільському господарстві"
 - ▶ Місце проведення: IV Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні аспекти сучасних наукових досліджень»
- ▶ Назва статті: "Автономне планування траєкторії для скоординованих груп безпілотників"
 - ▶ Місце проведення: XVI науково-практична конференція магістрантів та аспірантів ПМК-2023

Апробація роботи

- ▶ Конференція: V Міжнародна студентська наукова конференція «Наука сьогодення: від досліджень до стратегічних рішень»
 - ▶ Тези: " Автономна система маршрутизації з використанням методів машинного навчання для аналізу зображень дрону "
 - ▶ Місце: Чернівці, Україна
 - ▶ Дата: 22.12.2023
- ▶ Конференція : IV Міжнародна науково-практична конференція «Актуальні аспекти сучасних наукових досліджень»
 - ▶ Тези: " Тестовий експеримент з визначення ефективності засобів підвищення ефективності системи управління дронами в сільському господарстві "
 - ▶ Місце: Токіо, Японія
 - ▶ Дата: 21-23.12.2023

ДОДАТОК Б

Код програми

```
offb.cpp
// Файли заголовків ROS та повідомлень
#include <ros/ros.h>
#include <geometry_msgs/PoseStamped.h>
#include <mavros_msgs/CommandBool.h>
```

```

#include <mavros_msgs/SetMode.h>
#include <mavros_msgs/State.h>

// Глобальна змінна для зберігання поточного стану системи
mavros_msgs::State current_state;

// Зворотня функція зчитування поточного стану системи
void state_cb(const mavros_msgs::State::ConstPtr& msg){
    current_state = *msg;
}

// Основна функція програми
int main(int argc, char **argv)
{
    // Ініціалізація ROS-ноди
    ros::init(argc, argv, "offb_node");
    ros::NodeHandle nh;

    // Підписка на отримання стану системи з mavros
    ros::Subscriber state_sub = nh.subscribe<mavros_msgs::State>
        ("mavros/state", 10, state_cb);

    // Публікація команд у вузол mavros
    ros::Publisher local_pos_pub = nh.advertise<geometry_msgs::PoseStamped>
        ("mavros/setpoint_position/local", 10);

    // Сервіси для армування та встановлення режиму
    ros::ServiceClient arming_client = nh.serviceClient<mavros_msgs::CommandBool>
        ("mavros/cmd/arming");
    ros::ServiceClient set_mode_client = nh.serviceClient<mavros_msgs::SetMode>
        ("mavros/set_mode");

    // Швидкість публікації повідомлень
    ros::Rate rate(20.0);

    // Очікування з'єднання з FCU (Flight Control Unit)
    while(ros::ok() && !current_state.connected){
        ros::spinOnce();
        rate.sleep();
    }

    // Початкова позиція дрону
    geometry_msgs::PoseStamped pose;
    pose.pose.position.x = 0;

```

```

pose.pose.position.y = 0;
pose.pose.position.z = 2;

// Створення запитів для переходу в режим OFFBOARD та армування
mavros_msgs::SetMode offb_set_mode;
offb_set_mode.request.custom_mode = "OFFBOARD";
mavros_msgs::CommandBool arm_cmd;
arm_cmd.request.value = true;

// Час останнього запиту
ros::Time last_request = ros::Time::now();

// Головний цикл програми
while(ros::ok()){
    // Перевірка та зміна режиму OFFBOARD
    if( current_state.mode != "OFFBOARD" &&
        (ros::Time::now() - last_request > ros::Duration(2.0))){
        if( set_mode_client.call(offb_set_mode) &&
            offb_set_mode.response.mode_sent){
            ROS_INFO("Offboard enabled");
        }
        last_request = ros::Time::now();
    } else {
        // Перевірка та армування
        if( !current_state.armed &&
            (ros::Time::now() - last_request > ros::Duration(2.0))){
            if( arming_client.call(arm_cmd) &&
                arm_cmd.response.success){
                ROS_INFO("Vehicle armed");
            }
            last_request = ros::Time::now();
        }
    }
}

// Публікація позиції дрону
local_pos_pub.publish(pose);

ros::spinOnce();
rate.sleep();
}

return 0;
}

```

```

gazebo_ros_realsense.cpp
#include "realsense_gazebo_plugin/gazebo_ros_realsense.h"
#include <sensor_msgs/fill_image.h>
#include <sensor_msgs/point_cloud2_iterator.h>

namespace {
// Функція для видобування назви камери зі строки
std::string extractCameraName(const std::string &name);
// Функція для отримання інформації про камеру для зображення
sensor_msgs::CameraInfo cameraInfo(const sensor_msgs::Image &image,
                                     float horizontal_fov);
}

namespace gazebo {
// Реєстрація плагіну
GZ_REGISTER_MODEL_PLUGIN(GazeboRosRealsense)

GazeboRosRealsense::GazeboRosRealsense() {}

GazeboRosRealsense::~GazeboRosRealsense() {
    ROS_DEBUG_STREAM_NAMED("realsense_camera", "Unloaded");
}

// Завантаження плагіну
void GazeboRosRealsense::Load(physics::ModelPtr _model, sdf::ElementPtr _sdf) {
    // Переконайтесь, що ROS-вузол для Gazebo вже ініціалізовано
    if (!ros::isInitialized()) {
        ROS_FATAL_STREAM("A ROS node for Gazebo has not been initialized, unable "
                          "to load plugin. "
                          "<< "Load the Gazebo system plugin "
                          "'libgazebo_ros_api_plugin.so' in the gazebo_ros "
                          "package)");
        return;
    }
    ROS_INFO("Realsense Gazebo ROS plugin loading.");

    RealSensePlugin::Load(_model, _sdf);

    this->rosnode_ = new ros::NodeHandle(this->GetHandle());

    // Ініціалізація менеджера інформації камери
    this->camera_info_manager_.reset(

```

```

    new camera_info_manager::CameraInfoManager(*this->rosnode_, this-
>GetHandle()));

this->itnode_ = new image_transport::ImageTransport(*this->rosnode_);

// Оголошення видавців зображень камер
this->color_pub_ = this->itnode_->advertiseCamera(
    cameraParamsMap_[COLOR_CAMERA_NAME].topic_name, 2);
this->ir1_pub_ = this->itnode_->advertiseCamera(
    cameraParamsMap_[IRED1_CAMERA_NAME].topic_name, 2);
this->ir2_pub_ = this->itnode_->advertiseCamera(
    cameraParamsMap_[IRED2_CAMERA_NAME].topic_name, 2);
this->depth_pub_ = this->itnode_->advertiseCamera(
    cameraParamsMap_[DEPTH_CAMERA_NAME].topic_name, 2);

// Оголошення видавця хмари точок, якщо ввімкнено
if (pointCloud_) {
    this->pointcloud_pub_ =
        this->rosnode_->advertise<sensor_msgs::PointCloud2>(pointCloudTopic_, 2,
false);
}

last_time = this->world->SimTime();
}

// Зворотний виклик для нового кадру камери
void GazeboRosRealsense::OnNewFrame(const rendering::CameraPtr cam,
    const transport::PublisherPtr pub) {
    common::Time current_time;
    current_time = this->world->SimTime();
    if ((current_time - last_time).nsec < 300000000) {
        current_time = last_time;
    }

    // Визначення ідентифікатора камери
    std::string camera_id = extractCameraName(cam->Name());
    const std::map<std::string, image_transport::CameraPublisher*>
        camera_publishers = {
        {COLOR_CAMERA_NAME, &(this->color_pub_)},
        {IRED1_CAMERA_NAME, &(this->ir1_pub_)},
        {IRED2_CAMERA_NAME, &(this->ir2_pub_)},
    };
    const auto image_pub = camera_publishers.at(camera_id);

```

```

// Копіювання даних в зображення
this->image_msg_.header.frame_id =
    this->cameraParamsMap_[camera_id].optical_frame;
this->image_msg_.header.stamp.sec = current_time.sec;
this->image_msg_.header.stamp.nsec = current_time.nsec;
last_time = current_time;

// Встановлення кодування зображення
const std::map<std::string, std::string> supported_image_encodings = {
    {"RGB_INT8", sensor_msgs::image_encodings::RGB8},
    {"RGB_INT16", sensor_msgs::image_encodings::RGB16},
    {"RGB_A16", sensor_msgs::image_encodings::RGBA16},
    {"BGR_INT8", sensor_msgs::image_encodings::BGR8},
    {"BGR_INT16", sensor_msgs::image_encodings::BGR16},
    {"BGR_A16", sensor_msgs::image_encodings::BGRA16},
    {"L_INT8", sensor_msgs::image_encodings::MONO8}};
const auto pixel_format = supported_image_encodings.at(cam->ImageFormat());

// Копіювання зі симуляції зображення в ROS-повідомлення
fillImage(this->image_msg_, pixel_format, cam->ImageHeight(),
    cam->ImageWidth(), cam->ImageDepth() * cam->ImageWidth(),
    reinterpret_cast<const void *>(cam->ImageData()));

// Визначення об'єкта рендерингу камери
const std::map<std::string, rendering::CameraPtr> cameras = {
    {COLOR_CAMERA_NAME, this->colorCam},
    {IRED1_CAMERA_NAME, this->ired1Cam},
    {IRED2_CAMERA_NAME, this->ired2Cam},
};

// Публікація в ROS
auto camera_info_msg =
    cameraInfo(this->image_msg_, cameras.at(camera_id)->HFOV().Radian());
image_pub->publish(this->image_msg_, camera_info_msg);
}

// Заповнення хмари точок
bool GazeboRosRealsense::FillPointCloudHelper(sensor_msgs::PointCloud2
    &point_cloud_msg,
    uint32_t rows_arg, uint32_t cols_arg,
    uint32_t step_arg, void *data_arg) {
    // Модифікатор для зрушення хмари точок
    sensor_msgs::PointCloud2Modifier pcd_modifier(point_cloud_msg);
    pcd_modifier.setPointCloud2FieldsByString(2, "xyz", "rgb");

```

```

// Перетворення в плоский масив, який потрібно буде відновити пізніше
pcd_modifier.resize(rows_arg * cols_arg);
point_cloud_msg.is_dense = true;

// Ітератори для кожного елемента хмари точок
sensor_msgs::PointCloud2Iterator<float> iter_x(pointcloud_msg_, "x");
sensor_msgs::PointCloud2Iterator<float> iter_y(pointcloud_msg_, "y");
sensor_msgs::PointCloud2Iterator<float> iter_z(pointcloud_msg_, "z");
sensor_msgs::PointCloud2Iterator<uint8_t> iter_rgb(pointcloud_msg_, "rgb");

float *toCopyFrom = (float *)data_arg;
int index = 0;

// Отримання кута обзору
double hfov = this->depthCam->HFOV().Radian();
double fl = ((double)this->depthCam->ImageWidth()) / (2.0 * tan(hfov / 2.0));

// Конвертація глибини в хмару точок
for (uint32_t j = 0; j < rows_arg; j++) {
    double pAngle;
    if (rows_arg > 1)
        pAngle = atan2((double)j - 0.5 * (double)(rows_arg - 1), fl);
    else
        pAngle = 0.0;

    for (uint32_t i = 0; i < cols_arg; i++, ++iter_x, ++iter_y, ++iter_z, ++iter_rgb) {
        double yAngle;
        if (cols_arg > 1)
            yAngle = atan2((double)i - 0.5 * (double)(cols_arg - 1), fl);
        else
            yAngle = 0.0;

        double depth = toCopyFrom[index++];

        if (depth > pointCloudCutOff_ && depth < pointCloudCutOffMax_) {
            *iter_x = depth * tan(yAngle);
            *iter_y = depth * tan(pAngle);
            *iter_z = depth;
        } else {
            *iter_x = *iter_y = *iter_z = std::numeric_limits<float>::quiet_NaN();
            point_cloud_msg.is_dense = false;
        }
    }

    // Колір точок

```

```

uint8_t *image_src = (uint8_t *)&(this->image_msg_.data[0]);
if (this->image_msg_.data.size() == rows_arg * cols_arg * 3) {
    // Кольорове зображення
    iter_rgb[0] = image_src[i * 3 + j * cols_arg * 3 + 0];
    iter_rgb[1] = image_src[i * 3 + j * cols_arg * 3 + 1];
    iter_rgb[2] = image_src[i * 3 + j * cols_arg * 3 + 2];
}
else if (this->image_msg_.data.size() == rows_arg * cols_arg)
{
    // mono (or bayer? @todo; fix for bayer)
    iter_rgb[0] = image_src[i + j * cols_arg];
    iter_rgb[1] = image_src[i + j * cols_arg];
    iter_rgb[2] = image_src[i + j * cols_arg];
}
else
{
    // no image
    iter_rgb[0] = 0;
    iter_rgb[1] = 0;
    iter_rgb[2] = 0;
}
}
}

// reconvert to original height and width after the flat reshape
point_cloud_msg.height = rows_arg;
point_cloud_msg.width = cols_arg;
point_cloud_msg.row_step = point_cloud_msg.point_step * point_cloud_msg.width;

return true;
}

void GazeboRosRealsense::OnNewDepthFrame() {
    // Отримання поточного часу
    common::Time current_time;
    current_time = this->world->SimTime();

    // Перевірка, чи різниця між поточним і попереднім часом менше 30 мільсекунд
    if ((current_time - last_time).nsec < 30000000) {
        current_time = last_time;
    }

    // Виклик обробника подій для реальних сенсорів
    RealSensePlugin::OnNewDepthFrame();
}

```



```

// Копіювання даних в об'єкт зображення
this->depth_msg_.header.frame_id =
    this->cameraParamsMap_[DEPTH_CAMERA_NAME].optical_frame;
this->depth_msg_.header.stamp.sec = current_time.sec;
this->depth_msg_.header.stamp.nsec = current_time.nsec;
last_time = current_time;

// Встановлення формату зображення
std::string pixel_format = sensor_msgs::image_encodings::TYPE_16UC1;

// Копіювання даних з симульованого зображення до об'єкта ROS
fillImage(this->depth_msg_, pixel_format, this->depthCam->ImageHeight(),
    this->depthCam->ImageWidth(), 2 * this->depthCam->ImageWidth(),
    reinterpret_cast<const void *>(this->depthMap.data()));

// Публікація в ROS
auto depth_info_msg =
    cameraInfo(this->depth_msg_, this->depthCam->HFOV().Radian());
this->depth_pub_.publish(this->depth_msg_, depth_info_msg);

// Перевірка підписників для хмари точок
if (pointCloud_ && this->pointcloud_pub_.getNumSubscribers() > 0) {
    // Конфігурація об'єкта хмари точок
    this->pointcloud_msg_.header = this->depth_msg_.header;
    this->pointcloud_msg_.width = this->depthCam->ImageWidth();
    this->pointcloud_msg_.height = this->depthCam->ImageHeight();
    this->pointcloud_msg_.row_step =
        this->pointcloud_msg_.point_step * this->depthCam->ImageWidth();

    // Заповнення об'єкта хмари точок
    FillPointCloudHelper(this->pointcloud_msg_, this->depthCam->ImageHeight(),
        this->depthCam->ImageWidth(), 2 * this->depthCam->ImageWidth(),
        (void *)this->depthCam->DepthData());

    // Публікація хмари точок в ROS
    this->pointcloud_pub_.publish(this->pointcloud_msg_);
}
}

// Функція для виділення назви камери з повного імені
std::string extractCameraName(const std::string &name) {
    if (name.find(COLOR_CAMERA_NAME) != std::string::npos)
        return COLOR_CAMERA_NAME;
    if (name.find(IRED1_CAMERA_NAME) != std::string::npos)

```

```

    return IRED1_CAMERA_NAME;
if (name.find(IRED2_CAMERA_NAME) != std::string::npos)
    return IRED2_CAMERA_NAME;

// Виведення помилки у випадку невідомої назви камери
ROS_ERROR("Невідома назва камери");
return COLOR_CAMERA_NAME;
}

// Функція для формування об'єкта інформації про камеру
sensor_msgs::CameraInfo cameraInfo(const sensor_msgs::Image &image,
                                     float horizontal_fov) {
    sensor_msgs::CameraInfo info_msg;

    info_msg.header = image.header;
    info_msg.distortion_model = "plumb_bob";
    info_msg.height = image.height;
    info_msg.width = image.width;

    // Розрахунок фокусної відстані на основі горизонтального поля зору
    float focal = 0.5 * image.width / tan(0.5 * horizontal_fov);

    // Заповнення матриць проєкції та камери
    info_msg.K[0] = focal;
    info_msg.K[4] = focal;
    info_msg.K[2] = info_msg.width * 0.5;
    info_msg.K[5] = info_msg.height * 0.5;
    info_msg.K[8] = 1.;

    info_msg.P[0] = info_msg.K[0];
    info_msg.P[5] = info_msg.K[4];
    info_msg.P[2] = info_msg.K[2];
    info_msg.P[6] = info_msg.K[5];
    info_msg.P[10] = info_msg.K[8];

    return info_msg;
}
}

```